



## Lad vand og data strømme

**Mikkelsen, Peter Steen; Arnbjerg-Nielsen, Karsten; Bjerg, Poul Løgstrup; Bauer-Gottwein, Peter; Albrechtsen, Hans-Jørgen; Andersen, Henrik Rasmus; Vezzaro, Luca; Borup, Morten; Hansen, Lisbeth Truelstrup; Drews, Martin**

*Total number of authors:*  
29

*Publication date:*  
2019

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Mikkelsen, P. S., Arnbjerg-Nielsen, K., Bjerg, P. L., Bauer-Gottwein, P., Albrechtsen, H.-J., Andersen, H. R., Vezzaro, L., Borup, M., Hansen, L. T., Drews, M., Mølhave, K., Gernaey, K. V., Stedmon, C., Mariani, P., Ramousse, S., Jensen, L. B., Madsen, H., Christiansen, L. E., Christensen, E. D., ... Odgaard, M. H. (2019). *Lad vand og data strømme*. Danmarks Tekniske Universitet (DTU).

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Sektorudviklingsrapport

# Lad vand og data strømme

Den danske vandsektor står over for et valg.  
Surfe på den digitale bølge. Eller lade sig oversvømme af den.

8



Miljø- og Fødevareministeriet  
Miljøstyrelsen



BIOFOS



KALUNDBORG  
FORSYNING



DANVA  
Dansk Vand- og  
Spildevandsforening



AQUAPORIN



aarhusvand



EnviDan



KMC<sup>®</sup>  
LET'S TAKE FOOD FORWARD



Realdania

COWI

kamstrup



HOFOR



KRÜGER  VEOLIA

NIRXAS



The expert in WATER ENVIRONMENTS



NATURENS RIGE  
Ringkøbing-Skjern Kommune

*Danfoss*



DIT VAND · VORES ELEMENT



ROSKILDE  
KOMMUNE

Disclaimer: Personer i virksomheder, på universiteter og offentlige institutioner og myndigheder opstillet ovenfor er interviewet, men kan ikke nødvendigvis tages til indtægt for indholdet af rapporten. Henvendelser vedr. rapporten kan rettes til chefkonsulent Mads H. Odgaard, maod@dtu.dk.

# Lad vand og data strømme

Med denne rapport præsenterer DTU en kortlægning af potentialet for vandteknologi inden for især tre temaer: Klimatilpasning, Vand ind og ud af byer, og Forvaltning af vandressourcer – suppleret med en tværgående tendens om digitalisering, som har været allestedsnærværende i kortlægningsarbejdet med de interviewede aktører. De to brancheorganisationer DI og FRI har bidraget med viden og input til arbejdet.

I kortlægningen er begrebet "vandteknologi" lige så bredt anvendt, som det i dag bliver brugt af den berørte aktørkreds. Det er således alt fra sensorer, ventiler og pumper, over fysiske anlæg over og under jorden til vandløb, søer og grundvand, computermødeller og datatransmission og -analyse, samt tværgående vandteknologiske platforme og beslutningsstøttesystemer inden for økonomi og bæredygtighed.

Kortlægningen er afrundet med forslag til mulige forsknings- og udviklingsprojekter inden for udvalgte områder samt et sæt anbefalinger, der kan bidrage til at accelerere udvikling og anvendelse af nye teknologier og metoder i vandsektoren.

Projektet er et godt input til alle aktører i vandbranchen (myndigheder, forsyningsselskaber, rådgivende ingeniørvirksomheder, leverandører af vandteknologi og forskere) og kan være med til at styrke samarbejdet, så vi kan accelerere forskning og innovation på vandområdet. Det vil være helt nødvendigt for at løse de udfordringer, som verdensmål nr. 6 om rent vand og sanitet er udtryk for. Det er vores håb, at rapporten kan være med til at sikre Danmark en plads helt fremme i førerfeltet i mange år endnu.

*God læselyst!*

Miljøpolitisk chef Karin Klitgaard, DI  
Adm dir. Henrik Garver, FRI  
Koncerndirektør Marianne Thellersen, DTU



## Sådan har vi gjort

Hovedformålet med sektorudviklingsprojektet er at accelerere udviklingen af nye teknologier og metoder inden for vandsektoren samt styrke danske rådgivere, teknologiproducenter og forsyningsselskaber på området.

Arbejdet har givet indblik i en lang række muligheder for vandteknologi og metoder. Sammen med virksomheder, brancheorganisationer og myndigheder har vi kortlagt, hvordan de kan udnyttes til at skabe bedre løsninger.

Projektet er gennemført med deltagelse af eksperter fra DTU Aqua, DTU Byg, DTU Compute, DTU Energi, DTU Fotonik, DTU Fødevareinstituttet, DTU Kemiteknik, DTU Management Engineering, DTU Mekanik, DTU Miljø og DTU Nanotech. DI og FRI har bidraget med viden og input til arbejdet. DTU Miljø og Afdeling for Innovation og Sektorudvikling på DTU har været tovholdere. DTU er afsender af rapporten.

Anbefalingerne i rapporten reflekterer dialogen med aktører fra sektoren og på tværs af de involverede DTU institutter.

## Sektorudvikling

Sektorudviklingsprojekter er et af de værktøjer, som DTU bruger til at samarbejde med erhvervsliv og myndigheder. Målet med projekterne er at styrke teknologiintensive branchers konkurrenceevne ved at skabe overblik og handlingsplaner for udvikling og anvendelse af nye teknologier.

Metoden går ud på at:

- Kortlægge og analysere teknologianvendelsen i branchen, baseret på interviews og workshops
- Identificere flaskehalse og udviklingsbehov både hos virksomheder, myndigheder og DTU
- Give anbefalinger til at løfte udfordringer

Sektorudviklingsprojekterne bliver skabt i et forum bestående af repræsentanter for virksomheder, forskere fra DTU samt myndigheder.

## Vandsektoren og dens økosystem

Vandsektoren er kendetegnet ved mange vidt forgrenede aktiviteter i det private erhvervsliv, forsyningsselskaber, kommuner og forskningsinstitutioner. Det stod således klart, at sektorudviklingsprojektet skulle afgrænses. Vandsektoren omfatter derfor i dette projekt virksomheder og forsyningsselskaber, som leverer teknologi og/eller løsninger og services inden for tre hovedområder: Klimatilpasning, Vand ind og ud af byer, samt Forvaltning af vandressourcer.

# Indhold

Indledning .....	6
Resumé .....	7
Kapitel 1: Vand vigtigt for verden som aldrig før .....	10
Kapitel 2: En dansk succeshistorie – kan den fortsætte? .....	16
Kapitel 3: Temaer og tværgående tendenser for vandsektoren .....	24
- Klimatilpasning .....	26
- Vand ind og ud af byer .....	32
- Forvaltning og vandressourcer .....	36
- Digitalisering er den nye dagsorden på vej mod systemintegration .....	40
Kapitel 4: Digitaliseringsmodel for vandteknologi .....	45
Kapitel 5: Projektideer fra DTU .....	50
Kapitel 6: anbefalinger .....	57
Litteraturliste .....	61
Appendiks 1-4 .....	63

# Indledning

I kapitel 1 beskrives globale udfordringer inden for vandsektoren. Udfordringerne kan sammenfattes under overskrifterne "For meget vand", "For lidt vand" og "For beskidt vand". Her dækker "For meget vand" over oversvømmelser, der til en vis grad kan være forårsaget af klimaforandringer. Med "For lidt vand" menes mangel på vand, som enten kan skyldes overdreven udnyttelse af vandressourcen eller naturskabt tørke. Tørke har, indtil den meget varme og tørre sommer i 2018, ikke været opfattet som et problem i Danmark, men det er i høj grad et internationalt problem, som en række danske virksomheder medvirker til at finde løsninger på. Endelig går udtrykket "For beskidt vand" på forurening, som både er en relevant problematik i dansk og international sammenhæng. Herhjemme er det blandt andet en udfordring at overvåge tilstanden i vandmiljøet.

Kapitel 2 redegør indledningsvist kort for 2020'ernes udfordringer og for vandsektorens historik, samfundsøkonomiske betydning og konkurrenceevne.

Kapitel 3 beskriver de tre udvalgte temaer og en række tværgående tendenser, som er afdækket i sektorudviklingsprojektet. Der er dels tale om tendenser inden for rapportens tre temaområder - Klima-tilpasning, Vand ind og ud af byer og Forvaltning af vandressourcer - dels om tværgående tendenser.

I kapitel 4 skitserer vi en digitaliseringsmodel for vandteknologi, som har til formål at skabe et omdrejningspunkt for samarbejde om forskning og innovation.

Relevansen af de opnåede indsigter underbygges af cases og interviews med repræsentanter for en række aktører i vandsektoren.

Kapitel 5 formidler projektforslag, som er udviklet af DTU's forskere sammen med virksomheder, forsyningsselskaber og kommuner. Forslagene adresserer centrale udfordringer, som er afdækket i sektorudviklingsprojektet. Samtidig er der skelet til løsninger, som danske virksomheder har gode forudsætninger for at bidrage til at realisere.

I det afsluttende kapitel 6 redegøres for en række anbefalinger til forbedring af rammerne for forskning og innovation i vandsektoren.

# Lad vand og data strømme

Potentialet for vækst og bedre samfundsløsninger i den danske vandsektor er stort. Her er digitalisering en nøgelfaktor. Men omstillingen kræver et stærkere økosystem for forskning og innovation i vandsektoren.

Vand er vigtigt som aldrig før. Vand understøtter næsten al økonomisk vækst på tværs af sektorer. Problemstillinger relateret til vand – som ekstreme vejrfænomener, naturkatastrofer, tørke og fejlslagen klimatilpasning – regnes desuden blandt de allerstørste risikofaktorer for menneskehedens velbefindende og velstand. Samtidig er der et gigantisk potentiale i at skabe bæredygtige løsninger og forretningsmodeller, der fremmer vækst og beskæftigelse. Vandsektoren er gammel, men samtidig ung som branche.

Gennem de sidste 40 år er der udført en meget professionel indsats for at effektivisere og udvikle vandsektoren til en miljø- og eksportmæssig succes. Der er imidlertid stadig store udfordringer både nationalt og internationalt, som forskning, innovation, uddannelse og iværksætteri i vandteknologi kan bidrage til at løfte.

I 2020'erne kan man forestille sig, at der for at løfte udfordringerne vil blive udviklet systemer af vandteknologier baseret på produkt-service systemer og service-baserede forretningsmodeller, samarbejdende autonome systemer af vandteknologiske komponenter, multiforsyningssystemer på tværs af vand, energi og affald og gennemført terrorsikring af vandforsyning, bl.a. vha. cybersikkerhed. Nøgleordet for denne indsats er digitalisering.

Det er også sandsynligt, at miljøfremmede stoffer vil få et særligt fokus, når Vandrammedirektivets målsætninger skal opfyldes. Det kan også tænkes, at i dag uerkendte miljøproblemer pludseligt får fokus, ligesom det er sket ind imellem i de forgangne årtier.

I 2030 forestiller vi os derfor en digitaliseret vandsektor, hvor der er opnået store effektiviseringsgevinster, samtidig med at det er blevet muligt at gå på tværs af faglige, organisatoriske og reguleringsmæssige siloer og dermed opnå en mere helhedsorienteret og værdiskabende forvaltning af vandsektoren. Dette er nødvendigt for at nå FN's bæredygtigheds mål.

Projektet, som ligger til grund for denne rapport, peger imidlertid på en række trusler mod sektorens muligheder for at udnytte de nye muligheder i digitalisering.

Det er således afdækket, at forsyningsselskabernes risikovillighed og muligheder for at afprøve nye muligheder har været vigende i de seneste år. En konsekvens af dette er, at forsyningsselskaberne i mindre grad kan indgå i forsknings- og innovationsprojekter. Projektet viser også, at vandteknologiproducenter, rådgivende ingeniørvirksomheder, forsyningsselskaber, kommuner og universiteter i nogen udstrækning har specialiseret sig i forskellige retninger. Konsekvensen er, at økosystemet for sektoren fremstår fragmenteret og uden fælles mål.

Bredt i den danske vandsektor er der derfor efterspørgsel på en fælles vision og overlappende incitamentsstrukturer, der kan understøtte ambitionerne om at bringe Danmark helt forrest i feltet internationalt med deraf følgende øget eksport og beskæftigelse som resultat. En åbenlys mulig fælles vision for vandsektoren er at gennemføre det næste teknologispring ind i digitalisering og Industri 4.0 – som lokomotiv bag en transformation, der kan gøre sektoren både mere effektiv og innovativ, mindre fragmenteret og mere bæredygtig.



Rapporten er baseret på en lang række interviews og workshops med aktører fra vandsektoren, og den indeholder en kort gennemgang af vandsektorens vigtighed og vækstpotentiale på verdensplan (kapitel 1), en kort gennemgang af den danske vandsektors udvikling siden 1970'erne, da det danske Miljøministerium blev til som det første i verden (kapitel 2), en gennemgang af tendenser i vandsektoren indenfor tre udvalgte temaer, Klimatilpasning, Vand ind og ud af byer, og Forvaltning af vandressourcer (kapitel 3), en præsentation af en skitseret digitaliseringsmodel for vandsektoren (kapitel 4), en præsentation af en række projektideer fra DTU indenfor ovennævnte temaer (kapitel 5), samt en syntese formuleret som fem sammenfattende anbefalinger (kapitel 6). Anbefalingerne er:

### Anbefaling 1: Styrket økosystem

Fra andre sektorer (fx høreapparatusindustrien) er det velkendt, at større strategiske satsninger kan skabe sammenhæng i et teknologisk økosystem. Større strategiske satsninger kan derfor være nødvendige for at vende udviklingen i vandsektoren. Samtidig skal der etableres rammebetingelser og incitamentsstrukturer, som understøtter udvikling og implementering af nye løsninger og radikalt styrker samspillet mellem universiteternes forskning og vandsektorens behov. Endelig er der behov for, at interessenterne går sammen om en vision for den næste store teknologiudvikling, som synes at skulle knyttes til digitalisering og Industri 4.0.

### Vand er den ultimative systemudfordring

World Economic Forum (WEF) identificerer i sin Global Risk Report (18) problemstillinger relateret til vand – som ekstreme vejrfænomener, naturkatastrofer, tørke (vand-krise) og fejlslagen klimatilpasning – blandt de allerstørste risikofaktorer for menneskehedens velbefindende og velstand. WEF betegner også i sit Global Water Initiative (19) vand som ”den ultimative systemudfordring”, fordi vand understøtter al økonomisk vækst på tværs af sektorer, samtidig med at vand forvaltes fragmenteret indenfor forskellige sektorer, hvilket fører til nedbrud af service og underinvestering i kritisk infrastruktur.

### Anbefaling 2: Større strategiske satsninger og integration af fagligheder

Der foreslås strategiske satsninger med udgangspunkt i temaerne behandlet i rapporten – Klimatilpasning, Vand ind og ud af byer samt Forvaltning af vandressourcer:

- Systemintegration på tværs af datakilder, fysiske anlæg, digitale vandteknologiske løsninger og tværgående vandteknologiske platforme – både i driftssituationen og ved planlægning af fremtidige investeringer, hvor nye vandteknologier kommer i spil.
- Nye robuste optiske sensorer, der kan måle på mangeartede stoffer i små koncentrationer, og som gør det muligt proaktivt at agere på signaler om ændringer i fx vandmængder og kvalitet med betydning for miljøtilstanden samt drift og levetid af ledningsnet m.v.
- Nye metoder til overvågning af vandets kredsløb i natur og miljø samt teknosfæren vha. satellitter, droner og autonome køretøjer, samt passive samplers og in situ sensorer.
- Nye datadrevne analyse- og styringsalgoritmer baseret på deterministisk modelforståelse, statistiske beskrivelser af usikre datakilder samt Big Data, maskinlæring og kunstig intelligens – med henblik på at udnytte de voksende datamængder af varierende type, kvalitet og hyppighed.
- Nye (samarbejdende autonome) systemer af vandteknologier baseret på intelligente komponenter og integration på tværs af vandteknologiske løsninger og tilknyttede forsyningsområder som fx vand- og energiteknologi (i første omgang) og vand- og fødevareteknologi (i anden omgang).
- Digitale værktøjer, der kombinerer totaløkonomiske analyser med risikohåndtering, bæredygtighedsvurdering og scenariefremskrivninger og inddrager metoder, der kan afdække arbejdsgange, handlingsbaserede behov og imødekommenhed overfor ny teknologi.

I udviklingen af en digitaliseringsmodel for vandteknologi er der behov for at integrere både domæneviden og fagligheder. Konkret skal der integreres mellem på den ene side den dybe teknisk-naturvidenskabelige vandfaglighed, og på den anden side den dybe faglighed om digitalisering og mere generelle færdigheder om hvordan systemer integreres. Her er der behov for forskere, som er i stand til at gå på tværs af faglighederne. Derfor er det rapportens anbefaling, at der satses på at bygge på tværs af fagligheder med vægt på at binde teknologier sammen vha. systemintegration.

### Anbefaling 3: Klare rammer for deling af data om vand

Rapporten peger på store muligheder i at udveksle data i vandsektoren. Her er en tillidsfuld ramme for deling af data afgørende.

Rapporten anbefaler derfor, at de centrale aktører i fællesskab skaber klare aftaleforhold om udveksling og brug af data. Endvidere anbefales det at skabe en teknisk platform og en organisation, der kan fungere som "one-stop-shop" for forskere og virksomheder, der ønsker at arbejde med vanddata. I tilknytning til denne vanddatabase bør der være mulighed for rådgivning.

### Anbefaling 4: En styrket tværfaglig uddannelsesindsats inden for vandteknologi

Dialogen med virksomheder, brancheforeninger, forsyningsselskaber samt offentlige myndigheder og institutioner har afdækket et behov for, at uddannelse inden for vandteknologi og metoder styrkes markant. Det gælder særligt kandidater med den dybe vandfaglighed, med kendskab til digitalisering og med kompetencer i at integrere på tværs af fagligheder. Ud over kandidater er der efterspørgsel efter ph.d.-uddannede forskere, og et bredt forankret ph.d.-program med afsæt i vandsektorens handlingsbaserede, tværfaglige behov vil her have stor effekt. Ph.d'erne kan enten indgå i virksomhedernes F&U-af-

delinger eller som yngre forskere på universitetet støtte op om samarbejdet med virksomheder, forsyningsselskaber, rådgivende ingeniører og kommuner.

### Anbefaling 5: Bedre rammer for entreprenørskab og start-up vækstlaget

Nye teknologiske landvindinger skabes ofte af højteknologiske start-ups i samarbejde med universiteter. Der er i særlig grad behov for at udbygge indsatsen og skabe bedre rammer for iværksætteri fx i form af (1) netværk og co-working spaces, hvor professionelle personer knyttes tidligt til opstarts-idéer og innovationsprojekter for at sikre en hurtigere vej til marked og vækst, (2) målrettede innovationsprogrammer med fokus på at fremme SMV'ers adgang til samarbejde med vandteknologiske forskere, (3) forpligtende langvarige samarbejder om innovation mellem større private og offentlige aktører inkl. universiteter, og (4) lovgivnings- og ledelsesmæssige rammer, der gør det muligt for iværksættere at udvikle og markedsføre services baseret på de hastigt voksende datamængder i vandsektoren.

## Water DTU

I 2014 oprettede DTU centeret Water DTU, for at skabe et samlet fokusområde, der drager fordel af synergier mellem vandrelateret forskning på tværs af universitetets institutter og gør DTU til en stærkere samarbejdspartner for eksterne aktører. Water DTU er baseret på tanken om, at vand understøtter langt de fleste aktiviteter på Jorden, og at løsninger på fremtidens udfordringer med vand kræver højere involvering af eksperter fra en lang række forskellige fagområder, som ikke traditionelt har været en del af vandsektoren. Centeret er forankret på DTU Miljø, og flere end ti institutter på DTU bidrager til aktiviteterne under Water DTU.

Water DTU er bl.a. tovholder for projektet VIS - Vand Innovation SMV'er. Projektets formål er at øge antallet af innovative små og mellemstore virksomheder i Region Hovedstaden ved at understøtte innovation på vandområdet. DTU's partnere i projektet er CLEAN, Vækstforum Hovedstaden og Scion DTU. Projektet har succes med at forbinde SMV'ernes behov for højt specialiseret viden med aktive forskere på DTU, og løfter dermed ligesom DTU Skylab innovations- og entreprenørskabsindsatsen på DTU.

Water DTU var også blandt initiativtagerne til sammen med DANVA, HOFOR og Københavns kommune samt en række andre aktører inkl. DI at tiltrække IWA World Water Congress & Exhibition til København i 2020 - under temaet "Water for Smart Liveable Cities".

Se <http://water.dtu.dk>

## Kapitel 1

# Vand er vigtigt for verden som aldrig før

For lidt vand. For meget vand. For beskidt vand. Så kort kan de tre vigtigste problemstillinger inden for global vandhåndtering beskrives.

Oversvømmelse på Istedgade  
i København d. 2. juli 2011.  
Kilde: Wikipedia





## Fødevarer kræver vand

Det kræver masser af vand at producere fødevarer. Derfor er der en klar sammenhæng mellem verdens voksende befolkning og efterspørgslen efter vand.

70 % af verdens vandforbrug går til produktion af fødevarer (1). Ifølge FN vil befolkningstallet i verden stige fra 7,7 milliarder i 2017 til mellem 9,4 og 10,2 milliarder i 2050 (2). Det betyder – stadig ifølge FN – at verdens nuværende vandforbrug på ca. 4.600 km<sup>3</sup> årligt vil stige med 20-30 % til mellem 5.500 og 6.000 km<sup>3</sup> årligt i 2050 (3).

Størstedelen af forbruget sker som vanding under dyrkningen af spiseafgrøder og foder, men også produktionen på bryggerier og andre fødevarerproducerende virksomheder tegner sig for en stor andel. Samtidig gør tørke, overforbrug og forskellige former for forureninger indhug i vandressourcerne. Mange lande og regioner har i dag svært ved at dække efterspørgslen. Til gengæld åbner der sig et væld af forretningsmuligheder for løsninger og teknologi, som forvalter vand på en klogere måde end hidtil.

## Oversvømmelser for milliarder

Mens mange lande og regioner plages af vandmangel, har andre for meget vand. Eller rettere for meget vand de forkerte steder – og ofte pludseligt. Oversvømmelser er et gammelt kendt problem, men forandringerne i klodens klima og arealudnyttelsen har dels flyttet problemerne til nye områder, dels øget det samlede omfang markant.

Danmark er et af de lande, som har mærket denne konsekvens af klimaforandringerne tydeligt. Især et særlig voldsomt skybrud, der ramte København i 2011, blev en øjenåbner for borgere og myndigheder. Både før og efter har der været en række andre skybrud i hele landet, forstået som meget voldsomme regnbyger, der forårsager oversvømmelse af kloakker og tagrender.

Den samlede skadesregning ifm. oversvømmelser for forsikringsselskaberne i EU over de seneste 15 år løber ifølge EU Kommissionen op i 25 milliarder euro (4). Der har været en stigende tendens over perioden, så den årlige udgift nu ligger på knap fem milliarder euro. Ifølge det europæiske miljøagentur vil tallet blive femdoblet frem mod 2050 (5).

I betragtning af de store omkostninger og menneskelige tragedier er det ikke overraskende, at håndtering af vand fra skybrud og andre oversvømmelser står højt på den internationale dagsorden. Det gælder også stigende vandstande i havet samt det særlige problem, at havvand trænger ind i grundvandsmagasi-

ner, så grundvandsspejlet mange steder står nærmest permanent højt, og at de øgede mængder af regn derfor ikke når at trænge dybt ned i undergrunden.

## Huller i viden om vandressourcer

Store mængder regnvand udgør også en trussel mod vandkvaliteten i havne, søer og åer. Især ved kraftigt regn kan kloakkerne løbe over, så der strømmer fortyndet urensset spildevand ud. På den måde hænger klimaforandringerne sammen med det tredje tema i global vandhåndtering – for beskidt vand.

Ifølge den europæiske teknologiplatform for vand WssTP (Water Supply and Sanitation Technology Platform) er 90 % af floderne i EU påvirket af forureninger, mens det samme gælder 50 % af det øvrige overfladevand og 33 % af grundvandsressourcerne (6).

WssTP har en lang række forsyningsselskaber og producenter af vandteknologi som medlemmer. Partnerskabet arbejder tæt sammen med EU Kommissionen. Ud over forureningen i sig selv er det ifølge WssTP et stort problem, at der er huller i vores viden. Faktisk konkluderer partnerskabet, at for 40 % af vandressourcerne i EU kan man i dag ikke vurdere, i hvilken grad de er påvirket af forurening (7).

Mange steder i verden er situationen betydeligt værre end i EU. Det gælder både med hensyn til omfanget af forurenede vandressourcer og omfanget af vandressourcer, som myndighederne mangler data for.

## 30 % af vandet kan genanvendes

Det siger næsten sig selv, at de mange former for forurening er med til at forstærke verdens mangel på vand. Inden for de kommende årtier skal vi altså finde meget store yderligere vandressourcer – SAMTIDIG med at en stor del af de nuværende ressourcer er truet af forureninger.

## Water-smart EU i 2030

Den europæiske teknologiplatform for vand WssTP har ca. 170 medlemmer, som overvejende er forsyningsselskaber og producenter af vandteknologi. EU Kommissionen tog initiativ til WssTP i 2004, og aktiviteterne foregår fortsat i tæt samarbejde med EU. Partnerskabets vigtigste formål er at fremme innovation inden for den europæiske vandsektor, hvilket sker med succes og til en vis grad på bekostning af forskningen, eftersom hovedparten af Horizon 2020 indsatsen inden for vand nu foregår i "Innovation Actions". WssTPs hovedvision er, at "overgangen til et water-smart (vand-klogt) samfund skal være i fuld gang i 2030".

<http://wsstp.eu/>





Rent vand efter  
membranfiltrering.  
Foto: Martin Rygaard,  
DTU Miljø

Den gode nyhed er dog, at verden ikke behøver at dække hele den yderligere efterspørgsel ved at finde "nyt" vand. For det første kan der hentes meget ved at begrænse spildet af vand i ledningsnettet. For eksempel ved at opdage nedbrud og utætheder tidligt, eller endnu bedre ved at forebygge dem. For det andet er der internationalt stor opmærksomhed på, at vi ikke behøver vand af højeste kvalitet til alle formål.

Mens Danmark har god vandforsyning, er mange andre områder i Europa jævnligt plaget af vandmangel. WssTP partnerskabets vision er derfor, at 30 % af Europas vandforsyning i fremtiden skal komme fra alternative kilder (8). For det første kan man opsamle regnvand i byerne. For det andet kan man genanvende vand lokalt eksempelvis i boligområder og industrier. For det tredje kan man trække næringsstoffer ud af spildevandet. På den måde kan man på én gang få et værdifuldt gødningsprodukt og gøre vandet bedre egnet til en række formål. For det fjerde kan man udnytte havvand og brakvand gennem afsaltning og andre former for behandling.

Vandet fra alternative kilder skal måske ikke bruges direkte som drikkevand, men det kan gøre god gavn for eksempel i industrielle sammenhænge eller til tøjvask og vanding. I dag bliver under 5 % af Europas vand genanvendt. Ved at øge andelen til 30 % vil man ifølge WssTP gøre "nye" 100 km<sup>3</sup> årligt tilgængeligt (8). Denne virkelighed er for eksempel allerede en realitet i Singapore, hvor man under betegnelsen "NEWater" renser spildevand, så det kan bruges både til industriproduktion og har drikkevandskvalitet.

### Svaret er smart forvaltning

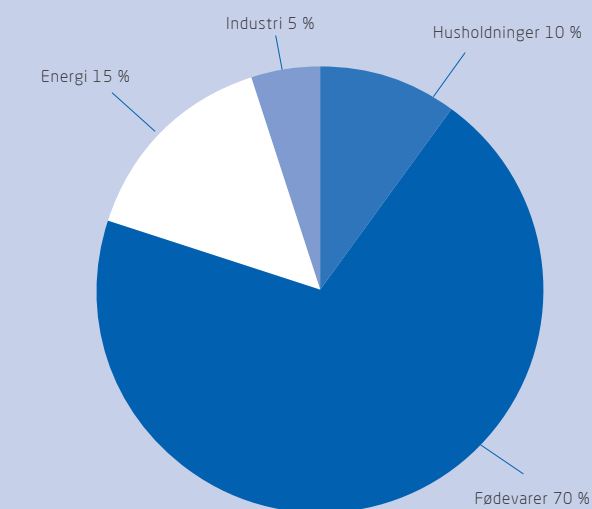
Sat lidt på spidsen har verden hidtil været så lemfældig i sin omgang med vand, at der er et meget stort potentiale for at indfri de ekstra behov for vand alene ved at indføre en bedre forvaltning, hvor man indvinder forskellige typer af vand til forskellige formål. Tilsvarende skal vandet efter brug ledes de rigtige

steder hen i stedet for, at det hele løber i den samme kloak.

EU's politik på området – blandt andet udtrykt i Vandrammedirektivet – bygger allerede i dag på denne holistiske tilgang til vandressourcerne. Der er også tegn på, at andre lande – blandt dem USA og Kina – er i gang med eller overvejer tilsvarende tilgange.

Det nye syn på vandforvaltning er både en udfordring for sektoren og en forretningsmulighed for de, der er i stand til at tilbyde de rigtige løsninger. Ifølge WssTP udgør det globale marked for vand og tilknyttet teknologi i dag knap 63.000 milliarder euro (8). Et enormt tal, som uden tvivl vil vokse yderligere over de kommende årtier. En række danske virksomheder er godt positioneret til at kæmpe med om denne omsætning.

## FN gør status for verdens vand



Figur 1. Fordelingen af verdens vandforbrug iflg. FN (12).

FN gør i sin "United Nations World Water Development Report 2018" (12) status for verdens vandforbrug, se figur 1. Den dominerende andel benyttes til fødevarerproduktion (70 %) og energiproduktion (15 %), sidstnævnte inkl. vandkraft, hvor ressourcen umiddelbart føres tilbage til naturen. Industriproduktion og husholdninger udgør hhv. 5 % og 10 %, men hér er forbruget koncentreret på de steder, hvor mennesker bor. Udviklingen i vandbehovet fremover kan illustreres ved en række citater.

*"Over de seneste 100 år er verdens vandforbrug seksdoblet (13), og forbruget vokser fortsat med ca. 1 % årligt (14). Fremover ventes det globale vandforbrug at fortsætte med at stige som en funktion af befolkningstilvækst, økonomisk udvikling, ændrede forbrugsmønstre og andre faktorer."*

*"Den globale efterspørgsel efter fødevarer og energi – begge vand-intensive sektorer – forventes at vokse med henholdsvis ca. 60 % og 80 % fra 2012 til 2025 (15)."*

*"Ifølge OECD (16) forventes vandforbruget i fremstillingsindustrien at vokse med 400 % over perioden 2000-2050."*

*"Husholdningernes vandforbrug ... forventes at vokse markant over perioden 2010-2050 i næsten alle egne af verden med undtagelse af Vesteuropa, hvor det er konstant (12)."*

*"I midten af 2010-erne boede 1,9 milliarder mennesker (27 % af verdens befolkning) i områder med potentiel knaphed på vand, og dette tal kan stige til mellem 2,7 og 3,2 milliarder i 2050. Regner man årstidsvariationer med, lever 3,6 milliarder (næsten halvdelen af Jordens befolkning) allerede i områder, som potentielt er udsatte for knaphed på vand mindst en måned årligt, og dette tal kan stige til mellem 4,8 og 5,7 milliarder i 2050 (12)."*

*"På verdensplan skønnes det, at 80 % af alt industrielt og offentligt spildevand ledes ud i miljøet uden nogen form for behandling, hvilket medfører en gradvis forringelse af vandkvaliteten med ødelæggende effekter for menneskers sundhed og for økosystemer til følge (17)."*

*"Siden 1992 har oversvømmelser, tørke og storme berørt 4,2 milliarder mennesker. (...) Ifølge OECD vil antallet af mennesker i risiko for oversvømmelser vokse fra 1,2 milliarder i dag til ca. 1,6 milliarder i 2050 (næsten 20 % af verdens befolkning) (12)."*

Dertil kommer vandsektorens bidrag til beskæftigelsen. Ifølge EU Kommissionen beskæftiger vandsektoren ca. 500.000 medarbejdere i EU (9). Heraf arbejder mange i branchens ca. 9.000 små og mellemstore virksomheder (10).

Den halve million beskæftigede er dog et lille tal i forhold de, der professionelt er indirekte afhængige af vand. Det gælder eksempelvis medarbejderne i fødevareindustrien. Ifølge FN er 40 % af den globale arbejdsstyrke beskæftiget i erhverv, som er "stærkt afhængige af vand" (11).

#### **En ny æra for sensorer og data**

Samtidig står det klart, at der er behov for en lang række nye teknologier og organisatoriske ændringer for at virkeliggøre visionen om "Smart Water".

Det er langt fra nok at beslutte sig for at anvende forskellige typer vand til forskellige formål. Man er nødt til at have markant bedre styr på vandet end i dag. Blandt andet for at være sikker på, at der ikke opstår uheldige situationer, hvor vand, der var tiltænkt et

andet formål, for eksempel kommer ind i systemet for drikkevand.

Her er den gode nyhed, at der i dag er et stort potentiale for at udvikle sensorsystemer, som vil kunne overvåge forskellige typer vand. Især hvis der kommer en stor efterspørgsel, vil det være muligt at masseproducere sensorer, så prisen bliver konkurrencedygtig.

Overvågningen kan dog ikke stå alene. Den må suppleres af datahåndtering, som gør det muligt at analysere situationen løbende og proaktivt handle, inden der opstår uheldige situationer. Med andre ord skal vandteknologien gå fra udelukkende at være passiv til at være proaktiv, på samme måde som digitalisering og Industri 4.0 vokser frem i disse år inden for mange andre sektorer.

Sammenfattende rummer den globale udvikling inden for vandforvaltning gigantiske udfordringer. Og udgør samtidig en lige så gigantisk chance for at skabe bæredygtige samfundsløsninger med stort potentiale for vækst og beskæftigelse.

## **Svensk satsning på vandforskning og klimatilpasning**

Den svenske vandforskning er efter nogle stille årtier ved at gennemgå en stor fornyelse baseret på en klar finansierings- og samarbejdsmodel mellem universiteter og forsyningsselskaber, der lægger op til strategiske prioriteringer og satsninger.

Et eksempel er, at Svenskt Vatten, den svenske brancheorganisation på forsyningsområdet for vand, har oprettet sit eget forsknings- og udviklingsprogram, hvor en stor del af midlerne går til at understøtte tematisk-regionale programsatsninger forankret på de svenske universiteter - et program om drikkevand (forankret i det sydlige Sverige), et program om regnvand og klimatilpasning (forankret i det nordlige Sverige), og to bredere programmer (forankret i hhv. Sydsvrige og området omkring Mälardalen inkl. Stockholm).

Se <http://www.svensktvatten.se/forskning/svenskt-vatten-utveckling/hogskoleprogram/>

Et andet eksempel er, at tre svenske forsyningsselskaber, som tilsammen dækker 18 svenske kommuner, har forenet kræfterne i forsknings- og udviklingsvirksomheden Sweden Water Research. De tre selskaber - Sydsvatten, NSVA og VA SYD - har forpligtet sig til at skyde minimum 1 % af deres årlige omsætning ind i forskningssamarbejdet. Sweden Water Research har hovedsæde i forskerbyen Ideon i Lund og finansierer mange ph.d. projekter. Forskningen kan i princippet handle om alle aspekter af vandområdet, men grundlaget for oprettelsen slår fast: "Den formentligt væsentligste udfordring, som vandbranchen står over for, er klimatilpasningen. Vi bliver nødt til at samle viden om vellykkede måder at klimatilpasse vandsektoren og aktivt sprede denne viden."

Se <http://www.swedenwaterresearch.se>





## Vand og FN's udviklingsmål

Ifølge FN er det én af det 21. århundredes største udfordringer at sikre befolkningerne rent vand. Derfor har vand naturligt fået plads som et af FN's i alt 17 officielle udviklingsmål (Sustainable Development Goals, SDG'er), nemlig som SDG 6 "Clean Water and Sanitation". Samtidig er en række af de øvrige SDG'er indirekte afhængige af, at der findes bæredygtige løsninger for vand. Det gælder ikke mindst SDG 7 om energi, SDG 11 om bæredygtige byer, SDG 12 om ansvarligt forbrug, og SDG 13 om beskyttelse af klimaet. Desuden er SDG 17 om partnerskaber relevant, fordi vand understøtter stort set alle andre sektorer. Mange virksomheder i ind- og udland og DANVA gennemfører i disse år analyser af, hvordan man bedst understøtter SDG'erne.



## Kapitel 2

# En dansk succeshistorie – kan den fortsætte?

Vandsektoren vokser målt på eksportindtægter, skatteindbetalinger og antal ansatte. Men samtidig er sektoren fragmenteret teknologisk og geografisk. Alle leder efter det næste teknologispring, der kan skabe fremtidens vækst.

Renseanlæg ved København med vindmøller  
i baggrunden. Kilde: State of Green



Figur 2 viser hovedtræk af udviklingen i den danske vandsektor fordelt på tiår. Historikken er vidt for-grenet - mange nye miljøproblemer har fået fokus, mange modstridende interesser har været og er i spil, og det virker næsten som en naturlov, at der skal ske et teknologispring hvert årti.

Danmark var blandt de første lande til at stille høje vandmiljøkrav til såvel private virksomheder som offentlige institutioner. Som det også er set i høreapparatindustrien og vindmølleindustrien, skabte dette ny efterspørgsel, som danske virksomheder tidligere end virksomheder i andre lande skulle opfylde, hvilket gav dem et teknologisk forspring, der kunne vendes til en eksportfordel.

Fundamentet for den danske vandsektor lægges med Forureningsrådets arbejde i slutningen af 1960'erne. Det førte til verdens første miljøministerium, som blev etableret i 1971. Det oprindelige navn, Forureningsministeriet, blev to år senere ændret til Miljøministeriet, og i 1974 kom Miljøbeskyttelsesloven.

### Lovkrav førte til innovation

Historien om den danske vandsektors eksportsucces tager for alvor sin begyndelse med de store Vandmiljøplaner i 1980'erne og op gennem 1990'erne. I starten var formålet med planerne at nedbringe udledningerne af næringsstoffer og organisk stof fra industri og landbrug til fjorde og havet. Senere blev der også lagt vægt på at mindske forureningen af vandløb og grundvand med pesticider.

Det resulterede i forskning og innovation på for-kant med udviklingen internationalt især inden for rensningsanlæg. Blandt de innovative produkter var nye renseprocesser samt pumper, rør, software og rådgivning. Innovationen skabte høj konkurrenceevne og førte til erobring af markedsandele især i Europa i løbet af 1980'erne og 1990'erne. Dette blev bl.a. understøttet af vedtagelsen af Byspildevandsdirektivet i EU i 1991, der implicit stillede krav om rensning af vand ved brug af dansk teknologi. Udviklingen af innovative produkter blev i løbet af 1990'erne fulgt op af udvikling af procesmetoder og teknologier til instrumentering og automatisering af renseanlæg og vandværker.

I 1990'erne satte bestemmelser om maksimal lækage af vand fra ledningsnettet og om udledning af nitrat og fosfor nye standarder og udløste dermed yderligere forskning og innovation i vandsektoren. Også dette understøttede den positive udvikling på eksportmarkederne.

Sidst men ikke mindst blev det i løbet af 1990'erne bredt erkendt, at rensningsanlæggenes elforbrug måtte håndteres. Efterhånden var rensningsanlæg-gene blevet en af kommunernes meget store poster på el-budgettet. Dette resulterede i en voksende indsats om at sikre energineutralitet på rensnings-anlæg og vandværker, og heraf er det øgede fokus på at trække energi og råstoffer ud af spildevand (især af slam) også kommet. Et af de positive resul-tater er, at danske forsyningsselskabers indsats for energieffektivitet igen og igen bliver fremhævet internationalt som eksempel til efterfølgelse.

## Billund vrider ekstra energi ud af slam

En vifte af innovative teknologier har bragt Billund på verdenskortet inden for vandteknologi. Billund BioRefinery, som blev indviet i juni 2017, producerer mere energi, end anlægget forbruger, samtidig med, at udledningen af næringsstoffer til vandmiljøet er mindsket markant.

Nøgleteknologien i anlægget, der er leveret af Krüger, er døbt EXELYS. Der er tale om termisk hydrolyse, som reducerer mængden af slam med 30-40 %. Det muliggør en væsentlig højere produktion af energi i forhold til traditionelle metoder. Således er energiproduktionen steget med 60 % fra ca. 8,6 millioner kWh til ca. 14 millioner kWh om året. Desuden er udledningen af næringsstoffer mindsket med 60 %. Det svarer til en sparet udledning af 12 ton kvælstof.

Anlægget bidrager kraftigt til, at 98 % af alt spildevand og kildesorteret madaffald nu bliver genanvendt i Billund. Det er enestående på verdensplan og har ført til, at byen modtager en lind strøm af professionelle besøgende fra hele verden.

Billund BioRefinery har modtaget Global Water Awards, EU Miljøprisen og Svend Auken-prisen.

Se <http://www.billundbiorefinery.dk>



	1970'erne	1980'erne	1990'erne	2000'erne	2010'erne	2020'erne
Udfordring og teknologi	Ammoniak, organisk stof og ltsvind i vandløb Forsuring i natur, søer, og øvre grundvand regionalt	Rensningsanlæg Nitrat i grundvand NPO i overfladevand, døde hummere i Kattegat Forurenede grunde	Pesticider i grundvand Intensiveret fjernelse af N og P fra spildevand, påvirkning af EU-lovgivning på området Instrumentering og automatisering af rensningsanlæg og vandværker Rensningsanlæg og vandværkers energiforbrug afføder indsats om energineutralitet Efterslæb konstateres på vedligeholdelse af ledningsnet	CO <sub>2</sub> neutralitet Methangas Mikrobiologi ifm. spildevand Grundvandskortlægning Oprensning af forurenede grunde Miljøfremmede stoffer Data vha. sensorer Havnebade bliver mulige grundet større kloakbassiner Oversvømmelser grundet ekstremregn begynder at optræde hyppigere	Mikroplast Lattergas i renseanlæg Øget fokus på at trække energi og råstoffer ud af især slam Klimatilpasning aht. ekstremregn tager fart Oversvømmelser grundet stormflod begynder at optræde hyppigere Vand-fødevarer-energi Nexus'en Pro-aktiv varsling vha. industri 4.0 tilgang Asset management Måltrettet regulering Nye metoder til miljøovervågning, vha. selvkørende køretøjer FN's bæredygtigheds mål	Totaløkonomiske analyser i kombination med risikovurdering Nye miljøfremmede stoffer Antropologiske/sociologiske metoder til at analysere handlingsbaserede behov Systemer af vandteknologi, baseret på produkt-service systemer og service-baserede forretningsmodeller Offentlig-private udviklingselskaber, der involverer universiteter Cybersikkerhed mod terrorangreb Samarbejdende autonome systemer Multiforsyningssystemer på tværs af vand, energi og fødevarer/affald Øget jobskabelse og eksport Efterspørgsel efter mere specialiseret arbejdskraft og nye uddannelser
Regulering	Etablering af Foreningsministeriet og den moderne regulering Miljøbeskyttelsesloven	Vandmiljøplaner mod udledning af fosfor til overfladevand og nitrat til grundvand	Krav til maksimal lækage fra ledningsnet, indsats om ammoniak og pesticider	Vandrammedirektiv Kommunalreform giver centraliseret overvågning fra regioner Forsyningssektorloven	Økonomisk benchmarking Klimatilpasningsplaner bliver lovpligtige	Vandrammedirektivet skal være opfyldt i 2027 Krav om åbne data standarder

Figur 2. Vandsektorens historik kort fortalt – miljøudfordringer og vandteknologi samt regulering.



Havnebad i København  
Kilde: State of Green

### Sektoren mangler et lokomotiv for integration

I løbet af 1980'erne og 1990'erne begyndte nogle virksomheder i sektoren at gå sammen om udvikling af systemer af vandteknologier. Formålet var at tage et skridt op i værdikæden ved ikke blot at levere komponenter, men hele systemer. Eksempelvis har Siemens traditionelt haft denne rolle inden for forsyningssektoren i Tyskland. I Danmark har Ørsted haft en tilsvarende rolle inden for vindenergi - som systemintegrator for de mange vindmølleproducenter, underleverandører og rådgivningsvirksomheder.

Myndighederne har undertiden nationalt ageret systemintegrator på vandområdet, men vandsektoren mangler sin pendant til Siemens og Ørsted på virksomhedssiden. Dertil kommer til sammenligning, at mens de 8-10 største aktører inden for vindenergi har en markedsandel på ca. 80 %, er vandsektoren ikke konsolideret i samme grad. Her har de 8-10 største aktører samlet blot ca. 8-10 % af markedet (20). Manglen på et naturligt lokomotiv for integration har medvirket til at vanskeliggøre en indsats om systemer af vandteknologier.

Men udviklingen af nye indsatser om vandteknologi er fortsat inden for andre områder. I løbet af 00'erne blev de første havnebade gjort mulige efter mange års systematiske investeringer i kloakbassiner. Desuden er behovet for at opnå klima-neutralitet og i den

forbindelse udnytte energiindholdet i metan vokset. Indsatser om håndtering af mikrobiologiske udfordringer ifm. spildevand og om grundvandskortlægning er gradvist vokset i samme periode. Senest er fokus på at opsamle data vha. sensorer øget, men der resterer en stor indsats med at ekstrahere relevant viden fra de mange data med henblik på både at opnå effektivitetsgevinster og for at understøtte en mere helhedsorienteret forvaltning på tværs af sektoren.

I løbet af 2010'erne har dagsordener om mikroplast i vandmiljøet og klimatilpasning fyldt stadig mere i den offentlige debat, mens udslip af lattergas fra renseanlæg har ført til megen teknisk innovation uden helt at nå offentlighedens bevågenhed. Det gælder også koordineret planlægning inden for vand, fødevarer og energi - den såkaldte Vand-fødevarer-energi Nexus. Endelig er overvågning af ændringer i kvalitet af grundvand ved kildeplads og af drikkevand, spildevand og endda overløbsvand kommet til som en ny dagsorden. Her er man inspireret af Industri 4.0 tankegangen. Ideen er fx at kunne forebygge ændringer i vandkvalitet, som kan korrodere betonrør, med henblik på at forlænge levetiden af ledningsnettet (også kaldet asset management). En mulig supplerende teknologi er miljøovervågning vha. satellitter, droner og selvkørende køretøjer - ofte i samspil med modeller der løbende "informerer" med data. Sidst i 2010'erne er der for alvor kommet fokus på opfyldelse af FN's



## 30 kilometer symbiose i Kalundborg

Begrebet cirkulær økonomi er mere end et modeudtryk i Kalundborg, hvor lokale forsyningsselskaber og virksomheder har et omfattende samarbejde under mottoet "den enes affald er den andens ressource". Blandt andet er der etableret over 30 kilometer rør mellem parterne, så det eksempelvis er muligt at udnytte spildvarme fra virksomhederne i byens fjernvarmenet. Omdrejningspunktet er samarbejdet Kalundborg Symbiosen, hvor offentlige og private virksomheder køber og sælger affald fra industriproduktion i en lukket cyklus. "De restprodukter, som handles, kan være vand, damp, støv, gas, varme, slam eller andet, som fysisk kan transporteres fra en virksomhed til en anden. Et restprodukt fra én virksomhed bliver til en anden virksomheds råvare, og det er godt for både økonomi og miljø," fremgår det af Kalundborg Forsynings hjemmeside.

Se <https://www.kalfor.dk>

bæredygtighedsmål og at koble disse med effektivisering og forretningsmuligheder.

### 2020'ernes udfordringer

I 2020'erne kan man forestille sig, at der desuden vil blive arbejdet med systemer af vandteknologier baseret på produkt-service systemer og service-baserede forretningsmodeller, samarbejdende autonome systemer af vandteknologiske komponenter, multiforsyningssystemer på tværs af vand, energi og affald og med terrorsikring af vandforsyning, bl.a. vha. cybersikkerhed. Det er også sandsynligt at miljøfremmede stoffer vil kræve et særligt fokus, når Vandrammedirektivets målsætninger skal opfyldes, og det kan også tænkes at i dag ikke-erkendte miljøproblemer pludseligt får fokus, ligesom det er sket ind imellem i de forgangne årtier.

Der synes også at være efterspørgsel efter antropologiske/sociologiske metoder til at analysere vandforbrugernes faktiske adfærd og udvikle et mere helstøbt beslutningsgrundlag for investeringer i vandteknologi, hvor man kombinerer totaløkonomiske analyser med risikohåndteringsanalyser. Design-thinking vil vinde frem for at lede og organisere innovationsprocesser og dermed sætte skub i udviklingen i retning mod at opfylde FN's mål for bæredygtighed.

I den forbindelse er det endnu et åbent spørgsmål, om og hvad alle disse indsatser forudsætter af regulering. Men man kan bl.a. forestille sig, at der kan sættes nogle standarder for udledning af CO<sub>2</sub>, lattergas og metan og etableres et progressivt reguleringsregime for deling og samproduktion af data ifm. Industri 4.0 tilgangen. Det fortsatte behov for progressiv regulering støttes af sammenlignende undersøgelser af energisektoren og vandsektoren i USA. Undersøgelserne viser, at forskning og innovation (målt på patentering) i energisektoren er langt mere udviklet end i vandsektoren. Ifølge undersøgelsen skyldes det bl.a. uhensigtsmæssigheder i reguleringen af vandsektoren (21, 22).

Endelig synes der at være et stort behov for uddannet arbejdskraft på alle niveauer i vandsektoren. Der er behov for at synliggøre de nye uddannelses tilbud, der allerede findes, så vandsektoren bliver mere attraktiv for yngre generationer. Men der er også behov for en styrket indsats for at sikre, at der uddannes kandidater med de rette nye kompetencer til fremtidens arbejdsmarked i vandsektoren – og at der uddannes tilstrækkeligt mange af dem.

### En fragmenteret sektor

Der eksisterer imidlertid også en række trusler mod sektorens udnyttelse af de nye muligheder. Det virker ikke givet på forhånd, at de danske forsyningsselskaber og producenter af vandteknologi vil stå tilbage



som vindere, når den næste bølge af teknologispring skal gennemføres. Det skyldes, at økosystemet for vandteknologi er udfordret på tre fronter.

For det første er forsyningssektoren nu selskabsgjort og i de seneste år desuden underlagt skrappe krav om effektivisering. Forsyningsselskaberne er derfor nødt til at koncentrere sig om at effektivisere og kvalitets-sikre driften. Traditionelt har sektorens investeringer i forskning og udvikling altid været små set i forhold til de betydelige værdier i form af kostbar infrastruktur, som sektoren repræsenterer. Men i dag synes selskabernes mulighed for at medvirke i udviklingsprojekter imidlertid endnu mindre end førhen. Samtidig er universiteternes muligheder for af egen kraft at drive forskning og udvikling på dette samfundsmæssigt vigtige område blevet mindre, fordi mange forskningsprogrammer forudsætter, at der kan skaffes medfinansiering til og deltagelse i projekterne fra aktører i den pågældende sektor.

For det andet fremstår sektoren fragmenteret, hvad angår teknologi. Den internationale konkurrence har meget naturligt fået producenterne af vandteknologi, de rådgivende ingeniørvirksomheder og forskningsinstitutionerne til at specialisere sig yderligere i deres kerneprodukter. Det har de gjort succesfuldt og i forskellige retninger. Men når man skal tage et teknologispring om digitalisering, hvor man åbner sig mod nye områder – især mod integration med helt andre teknologier som Internet of Things, Big Data, "machine learning" og lignende – kan specialisering i hver sin retning være en svaghed.

For det tredje er der en tendens til, at aktørerne i den danske vandsektor har truffet forskellige strategiske valg geografisk. Nogle producenter af vandteknologi satser hårdt på at udnytte vækstmulighederne i fremstormende økonomier som Kina, Indien og Brasilien,

mens andre går efter USA og Europa. Og eksportindsatsen foregår ofte i samarbejde med kommuner og forsyningsselskaber. Samtidig er der nogle brancheaktører, der primært koncentrerer sig om Danmark. Den forskellige geografiske fokus gør det sværere for aktørerne at samarbejde indbyrdes nationalt.

### Udviklingen i eksport og konkurrenceevne

Vand er et væsentligt og globalt vækstområde med et markedspotentiale på mere end 2.000 mia. kr. om året i 2020, hvilket er en stigning på knap 30 % i forhold til i 2016 (23).

Danmark har allerede en stærk position, og der er potentiale for en styrkelse af dansk industri og en øgning af den tilhørende eksport. Branchen selv forventer en fordobling i eksporten fra 2013 frem mod 2025, fra 17,7 til 35,4 mia. kr. Salget af pumper og ventiler står for hhv. 29 % og 19 % af eksporten. Der er tegn på, at det særligt er i Europa, USA og sekundært Kina/Sydpåstasien, at virksomhederne i vandbranchen forventer de største eksportvækstmuligheder (24). Samtidig er der tegn på, at Kina er i gang med et stort teknologisk "catching-up" inden for vandteknologi (25).

Udviklingen i andelen af EU-15 eksport af vandteknologi fra Danmark i perioden 2007-2013 har gennemgående været aftagende. Andelen er siden 2013 steget og er i 2016 næsten igen på 2007 niveau men er faldet lidt igen i 2017. Til sammenligning er den svenske eksport af vandteknologi faldet markant, mens den tyske er steget. Blandt alle EU lande udgør eksport af vandteknologi fra Danmark den næststørste andel af den samlede vareeksport i 2016 fra det enkelte land. Dette betyder samlet, at Danmarks økonomi er en af de økonomier i EU, som er mest specialiseret inden for vandteknologi (se Figur 4 i Appendix 3)(24). Dette er typisk udtryk for, at en sektor er en national styrkeposition.

## Aarhus gør spildevand til ressource

2026 er året, hvor Aarhus Vand forventer at tage verdens mest energieffektive renseanlæg i brug. "Anlægget skal producere mere energi, end anlægget forbruger, og udnytte de værdifulde ressourcer, som vi i dag betragter som affaldsstoffer," skriver Aarhus Vand på sin hjemmeside. "Eksempelvis kan affaldsstofferne blive til grøn biogas, varme, gødning og på sigt værdifulde ressourcer som medicin, dyrefoder og mad. Ved at udnytte ressourcerne i spildevandet kan omkostningerne til rensning af spildevand reduceres, ligesom CO<sub>2</sub>-forbruget kan reduceres, og der kan spares på knappe ressourcer som for eksempel fosfor. Derfor kalder vi det nye renseanlæg for Marselisborg Ressourceanlæg og på engelsk Marselisborg ReWater." Sammen med Egå Renseanlæg, der allerede har gennemgået en omfattende renovering, kommer det nye anlæg til at håndtere størstedelen af spildevandet i Aarhus. Desuden har byen anlæg i Åby og Viby. For få år siden havde Aarhus i alt 17 mindre anlæg.

Se <https://www.aarhusvand.dk/projekter/nyt-marselisborg-reseanlag>



NIRAS:

## Vandsektorens potentiale udnyttes ikke

NIRAS er blandt Skandinaviens førende rådgivende ingeniørvirksomheder. På vandområdet har virksomheden flere end 250 ingeniører, der medvirker til at skabe fremtidens forsyning af drikkevand gennem deres arbejde med vandværker, drikkevandskvalitet og -distribution, planlægning og analyser samt bæredygtig indvinding. Desuden klimasikrer NIRAS både by- og landområder og bistår med at udvikle fremtidens afløbssystemer og renseanlæg.

”Der er to vigtige satsningsområder, som trænger sig på. For det første at udnytte sammenhænge mellem vand, energi og affald. For det andet klimatilpasning, som har behov for en meget helhedsorienteret planlægning. Begge pointer er velkendte i branchen, men svært praktiserbare, da det politiske fokus i disse år er kortsigtede besparelser inden for hver enkelt forsyningsart frem for effektiviseringer gennem tværgående synergier og innovation”, siger udviklingschef Erik Wormslev.

Han uddyber:

”Desværre udnytter vi ikke potentialet i vandsektoren i disse år. Regeringens forsyningsstrategi ser ud til at være designet til at trække midler ud af sektoren fremfor at investere i innovation og teknologiudvikling, som kan give effektivisering og ikke mindst øget eksport af dansk vandteknologi. Hele verden er netop ved at erkende behovet for bæredygtige grønne løsninger inden for vand, energi og affald.

Det falder yderst uheldigt sammen med, at vi i Danmark har valgt at reducere vores investeringer i området. Samtidig har vi en medfinansieringsbekendtgørelse for terrænbaserede klimatilpasningsløsninger som kræver, at kommuner skal lægge 25 % af investeringerne. Det lukker i praksis ned for mange nye projekter. En af de negative konsekvenser er, at man køber billigt ind af gårsdagens teknologi, fordi økonomien er så presset. Der er simpelthen for lidt fokus på forskning og udvikling og udnyttelse af eksportpotentialer. Eksportpotentialet på det grønne område er voldsomt, men skal det udnyttes kræves et paradigmeskifte, hvor vi tør satse på fremtidens eksportmarkeder i stedet for at holde fast i fortidens”.

Ifølge NIRAS er der behov for beslutninger, som baseres på total- og samfundsøkonomiske analyser i kombination med risikoanalyser og helheds- og kredsløbstækning:

”Vi bør eksempelvis bevæge os væk fra at fortynde spildevand med drikkevand i vores kloakker. I dag pumper vi ofte vandet meget langt, hvorefter de to typer vand så skal skilles fra hinanden igen. I stedet bør vi sætte ind ved kilden”, siger Erik Wormslev.



HOFOR:

## Nye modeller for eksport af vandløsninger

Hovedstadens Forsyningsselskab – i daglig tale HOFOR – indvinder ca. 55 millioner kubikmeter grundvand årligt til fremstilling af drikkevand. Selskabet opsamlers spildevand fra husholdninger og industri samt regnvand, der falder på veje og tage fra i alt 8 kommuner i Storkøbenhavn.

Efter de voldsomme skybrud i somrene 2010 og 2011, som medførte oversvømmelser i hele hovedstadsområdet, er der opstået et stort politisk og folkeligt ønske om at skybrudssikre byerne. Hændelserne i årene efter har ligeledes øget fokus på at skybrudssikre Storkøbenhavn. Over de kommende 20 år skal der investeres ca. 11 mia. kr. i skybrudssikring af København. Der er sat gang i store tværkommunale projekter fx samarbejdet omkring Harrestrup Å, der skal sikre, at Storkøbenhavn kan håndtere de store regnskyl og samtidig give borgerne bedre rekreative muligheder. Andre kommuner i Storkøbenhavn er ligeledes i fuld gang med at udarbejde en skybrudsplan.

”Det er i sagens natur en stor udfordring at gennemføre en så stor og fælles indsats”, siger Ole Adeler, forsyningsdirektør for vand og spildevand i HOFOR.

HOFOR har igennem de sidste 20 år bygget adskillige underjordiske bassiner, hvilket er en af hovedårsagerne til, at vandet i Københavns indre havneområde i dag er så rent, at man kan bade i det. Under skybrud, hvor pladsen er trang i kloaksystemet, opbevares spildevandet og regnvandet i de store bassiner under jorden. Men når det regner meget, presses vand fra kloaksystemet til overfladen, og regnvandet på overflader løber langs gaderne.

”Såfremt alt regnvandet skulle opbevares i store bassiner under overfladen, ville det kræve særdeles store investeringer. Derfor er det nødvendigt at tænke nyt. I Storkøbenhavn er det tanken at opbygge et helt nyt infrastruktursystem bestående af en blå/grøn infrastruktur på overfladen, hvor regnvandet kan udnyttes som en positiv ressource i stedet for en negativ påvirkning af kloaksystemet med påvirkning af vores miljø til følge”, uddyber Ole Adeler.

HOFOR er med i mange projekter, der spænder fra klassiske anlægsprojekter til mere progressive løsninger på overfladen.

”I den forbindelse vil der være behov for innovation og erfaringsopsamling. Vi har en unik mulighed for at implementere et helt nyt system i en hovedstad. Vi arbejder på at få hele Storkøbenhavn til at arbejde sammen med det formål at optimere investeringen mod at skybrudssikre byerne. Vi forventer os stor innovation og spændende løsninger til gavn for byen ikke blot hydraulisk, men også rekreativt”, siger Ole Adeler.

”En af forudsætningerne er mulighed for at investere i innovative løsninger og tænke langsigtet. Det er vigtigt, at vi sikrer os, at vores regulering ligeledes tillader dette til gavn for vores borgere, den private sektor og forskningen. Såfremt det lykkes os at skaffe de rigtige rammer, er der ingen tvivl om, at vandsektoren fortsætter rejsen med at effektivisere, men samtidig sikrer, at vi også om mange år kan levere en god service til vores borgere. Desuden vil vore private virksomheder fortsat have mulighed for at være førende inden for teknologi og systemsammensætning med forhåbentlig stor eksport til følge”, siger Ole Adeler.







# Temaer og tværgående tendenser for vandsektoren

Da vandsektoren er vidt forgrenet og under stadig forandring, har det ikke været muligt at behandle alle knopskydninger af sektoren i sektorudviklingsprojektet. Fokus er derfor afgrænset til følgende tre temaer.

| Klimatilpasning | Vand ind og ud af byer | Forvaltning af vandressourcer |

I det følgende beskrives de vigtigste aktuelle udfordringer inden for de tre områder (for en udbygget oversigt, se Appendix 1): Derefter følger en sammenfatning af tendenser, som går på tværs af de tre områder.





# Klimatilpasning:

## Stor aktivitet trods begrænset viden og erfaring

Skybrud og stormfloder udgør en "brændende platform", der har sat gang i mange projekter om klimatilpasning både i Danmark og internationalt. Men usikkerheden i klimamodellerne skaber samtidig behov for nye analytiske værktøjer, der bedre er i stand til at forklare, hvilke beslutninger og aktiviteter, der skal tages og udføres nu, og hvilke, der med fordel kan afvente mere viden.

I det seneste årti har en række hændelser vist, at det danske samfund er sårbart over for oversvømmelser. Det gælder i særlig grad skybrud, hvor især en hændelse i København i 2011 stadig præger dagsordenen. Også stormfloder samt oversvømmelser fra vandløb og stigningen i grundvandspejl har bidraget til opmærksomheden.

De samme tendenser ser man internationalt. Blandt andet har der været en række voldsomme oversvømmelser i Centraleuropa gennem de senere år. Internationalt har der også været stor opmærksomhed om det modsatte problem – mangel på vand. Herhjemme er det usædvanligt med tørre og varme somre med vandmangel, dog med 2018 som en markant undtagelse. Klimamodellerne forudsiger, at meget varme og tørre somre fremover vil forekomme hyppigere i Danmark.

Samlet set står det klart, at klimaforandringer medfører en række akutte trusler mod både mennesker og natur. Ud over ødelæggelserne ved oversvømmelser kan nedgangen i forekomsten af ferskvand få store konsekvenser for mennesker og medføre massive tab både økonomisk og i form af forringet komfort. I øjeblikket ser det dog ud til, at de oprindelige markante bevillinger til forskningsprojekter både i Danmark og internationalt inden for klimatilpasning ikke bliver fulgt op politisk.

### Projekterne skal skabe merværdi

Selve de tekniske udfordringer inden for klimatilpasning svarer på mange måder til dem, der gælder for de øvrige hovedtemaer omfattet af rapporten. Imidlertid er der også forskelle.

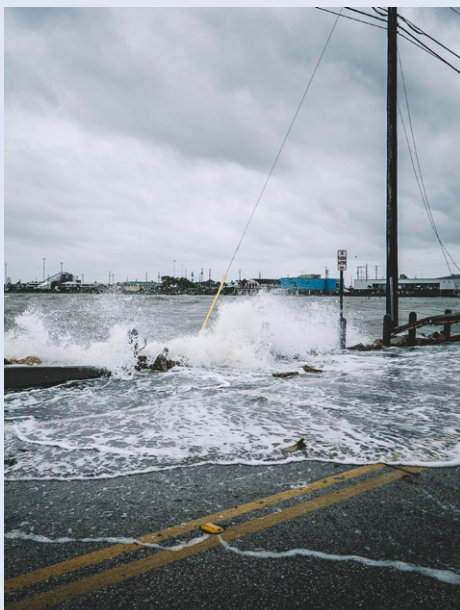
For det første kan vi ikke forudsige klimaændringer på kort sigt, og klimatilpasning har derfor et strategisk sigte. Der kan naturligvis godt komme umiddelbare gevinster – for eksempel hvis et skybrud rammer et område, der lige er blevet klimasikret – men som hovedregel sigter projekterne på gevinster, som først høstes langt ude i fremtiden.

For det andet er forekomsten af vand en meget central faktor for hele samfundets beståen. Og da klimaforandringer forårsager ændringer i forekomsten af vand, er der basis for at påvirke mange områder. Det betyder, at klimatilpasning sjældent planlægges og udføres alene inden for vandsektoren, men som hovedregel sker i et samspil med en række andre sektorer.

Ikke alene planlægges klimatilpasning på tværs af sektorer, men som regel også i et samspil mellem beslutningstagere, professionelle brugere og andre aktører. Der er store usikkerheder forbundet med klimatilpasning, men også store muligheder for at høste gevinster. Derfor kan usikkerhederne ikke bruges som argument for at undlade handling nu. På grund af det strategiske sigte er det vigtigt at udvikle totaløkonomiske værktøjer for klimatilpasning og sikre, at de anvendes som grundlag for at træffe beslutninger.

Særligt for regnvand har klimatilpasning åbnet for samspil med aktører uden for vandsektoren. Det har i nogen grad ændret dagsordenen, så man ikke længere sigter snævert på at sikre givne niveauer af service med given teknologi, men i stedet tilstræber en bredere, samfundsøkonomisk optimering og brug af multifunktionelle løsninger, der skaber merværdi for flere aktører. Her betragtes blandt andet forbedret sundhed, æstetik, biodiversitet og sikkerhed som merværdi. Derved er der åbnet for et bredere valg af teknologi og behov for større adgang til at udvikle, teste og dokumentere effekten af andre typer vandforvaltning. Der er dog fortsat et stort pres for at vælge traditionelle løsninger, og forståelsen er ikke altid tilstede for sammenhængen mellem det konkrete områdes fysiske skala, hyppigheden af hændelser der sikres for og projekternes multifaceterede mål. Desuden er det vigtigt, at helhedssynet også udbredes til fx kystsikring.





Kystvej under stormflod



Overbelastet kloaksystem under skybrud



Multifunktionelt regnbødder til klimatilpasning og sænkning af trafikhastigheden. Foto: Sara Lerer, DTU Miljø



Østerbro tunnelen. Kilde: Ulrik M. Eriksen og HOFOR



### Svært at kommunikere om risiko

Klimatilpasning er et relativt nyt felt. Samtidig er det en udfordring, at der sjældent findes enkle, tekniske løsninger, som kan realiseres ud fra en budgetøkonomisk tankegang. Typisk er man nødt til at anlægge en holistisk tilgang, hvor bredere samfundshensyn inddrages. For eksempel planlægningen af, hvordan forskellige arealer skal anvendes – både med kort og lang tidshorisont. Når flere får gavn af tiltagene, betyder det også, at flere kan være med til at finansiere dem.

Hverken i Danmark eller internationalt er der fuld enighed om hvilke principper, der bør være styrende for klimatilpasningen. Forskellige professioner og geografiske og politiske regioner har hver deres tilgange. Det er et generelt problem, at man lægger op til, at projekterne skal skabe merværdi, men uden at definere denne merværdi præcist. Det gør transparente totaløkonomiske analyser vanskelige. Diffuse målsætninger gør det svært at skabe succesfulde projekter.

DTU har en vigtig rolle at spille forskningsmæssigt, men i særdeleshed også ved at uddanne kandidater med indsigt i klimatilpasning. Mange af de ingeniører, der i dag er beskæftiget med at tackle klimaforandringerne, er uddannet på DTU. Det har stor samfundsmæssig betydning, at denne uddannelsesindsats fastholdes på et højt niveau.

Forskningen på DTU er inspireret af FN's klimapanel IPCC, der ser det som centralt at definere og beregne en risiko, defineret som en gennemsnitlig økonomisk skade per tid. Denne risiko vurderes så i forhold til, hvad samfundet opfatter som acceptable risici samt

økonomiske vurderinger af, hvordan risikoen kan mindskes og fordeles både i tid og mellem aktører. Der er solid videnskabelig dækning for denne tilgang, men man må samtidig gøre sig klart, at der er betydelige udfordringer forbundet med at kommunikere denne opfattelse af risiko til såvel offentligheden som nogle af de faggrupper, der arbejder professionelt med klimatilpasning.

### Udfordrer vandsektorens nul-fejls kultur

Et andet sæt af udfordringer handler om at identificere og derefter understøtte holistiske tankegange. Der kræves mere tænkning på tværs, end den aktuelle regulering lægger op til. Samtidig er nul-fejlskulturen, som ligger bagved megen regulering, udfordret kraftigt. Det har også vist sig vanskeligt at nå fra at identificere potentielle samfundsøkonomiske gevinster til at sætte tiltag i værk, som kan opnå gevinsterne i praksis. Det gælder i særdeleshed for skybrudshåndtering, som er det område, hvor man er kommet længst. I den typiske situation er der tre hovedaktører – borgeren, forsyningsselskabet og kommunen/myndigheden. Såvel forsyningsselskaberne som kommunerne er underlagt stram regulering, der hæmmer udvikling og afprøvning af ny teknologi. For den enkelte borger er det ofte vanskeligt at realisere merværdierne på en meget lille skala.

Klimatilpasning er et ungt fag, hvor såvel metoder som teknologier skal modnes. Det er dog ikke sikkert, at denne modning vil ske. Ud over de udfordringer, som er nævnt ovenfor, er der også risiko for, at tværfagligheden bliver så bred, at det oprindelige mål om at skabe et samfund, som er bedre til at håndtere ekstreme klimaforhold som eksempelvis kraftig regn, får for lille vægt i de konkrete projekter.

Multifunktionel klimatilpasning der skaber merværdi for brugerne af byens rum, Tåsinge Plads på Østerbro.  
Kilde: State of Green







RealDania:

## Fra løsninger for vand til løsninger MED vand

Specielt inden for klimasikring står vandsektoren med en stor formidlingsopgave. Det mener Mikkel Suell Henriques, projektchef i RealDania:

”Det drejer sig om at oversætte fagtermer til almindeligt sprog, men i høj grad også om at forklare risici. Det er nu engang sådan med oversvømmelser, hvad enten de skyldes kraftige regnskyl eller stormflod, at de ikke er fast tilbagevendende begivenheder. Den type hændelser kommer pludseligt og med ujævne mellemrum. Det er lidt som at slå med en terning. Det er ikke altid så let for folk at forstå, at hvis du har slået en 6'er i dag, gør det hverken sandsynligheden for, at du slår en 6'er i morgen, mindre eller større. Det samme gælder jo for en 100 års regnvandshændelse”.

RealDania har givet støtte til en række projekter inden for klimasikring.

”Vi vil gerne bidrage til, at vand ikke kun bliver set som et problem, man skal løse, men også som nye muligheder. Hvis man gør tingene rigtigt, kan vandet få stor rekreativ værdi for eksempel i nye byrum”, siger Mikkel Suell Henriques og henviser til Sønæs-projektet i Viborg:

”I udgangspunktet var der tale om et klassisk projekt, hvor det lokale forsyningsselskab skulle håndtere regnvandet og samtidig ønskede en dam som mellemstation, inden vandet ledes ud i den nærliggende Sønder sø. Den valgte løsning har skabt et nyt parkområde, som er meget attraktivt. Efter anlægget besøges området, der tidligere var fodboldbaner, af langt flere borgere. Mens vand på banerne altid var et problem for fodboldklubberne, så er det i dag en del af parkens rekreative værdi. Populært sagt er man gået fra løsninger for vand til løsninger MED vand”.

RealDania ser ikke sig selv som en del af vandsektoren, men har berøring med sektoren specielt gennem projekterne med klimasikring.

”Vores vinkel er jo ikke så meget vandteknologi, men derimod at udvikle nye byrum. Nye rekreative muligheder forudsætter ofte, at man lader vandet komme mere op til overfladen af landskabet, end der måske har været tradition for i sektoren. Det er klart, at så længe du holder vandet i dit rørsystem, ved du præcis, hvor det befinder sig. Når vandet kommer til overfladen, introducerer du også nye risici. Pludselig bliver det vigtigt at kende vandkvaliteten, fordi folk kan finde på at bade i det. Og hvordan med risiko for, at legende børn falder i vandet? Og hvad med adgangsforhold for handicappede i parkanlægget? På den måde udfordrer projekterne ofte den kontrol, som man er vant til at have over tingene i sektoren. Til gengæld er der store rekreative gevinster – samtidig med, at det faktisk oftest er samfundsøkonomisk billigere at sætte vandet frit frem for at pumpe det rundt i rørsystemer”.



DANVA:

## Klimatilpasning og mikroplast er hot

DANVA er interesseorganisationen for alle, der arbejder professionelt med vand og spildevand - med forsyningsselskaber på vandområder som de stemmeberettigede medlemmer. Foreningen er en selvstændig nonprofit forening, finansieret af medlemmerne og ved indtægtsdækket virksomhed.

"Klimatilpasning og begrænsning af indholdet af mikroplast i vand er vigtige opgaver for sektoren nu og fremadrettet. Desuden åbner direktivet om byernes spildevand for forbedret energieffektivitet i sektoren samt en indsats imod lattergas og medicinrester i vandet", siger direktør Carl-Emil Larsen, DANVA.

Hos DANVA følger man nøje udviklingen inden for digitalisering af sektoren.

"Det er endnu uudforsket, hvor meget man kan hente gennem en Industri 4.0 tilgang til asset management baseret på meldinger om ændringer i vandets beskaffenhed," siger Carl-Emil Larsen.

Direktøren understreger, at der er lovgivning, som mangler at komme på plads, før digitaliseringen kan vinde fuldt indpas inden for vandsektoren:

"Man kan godt forestille sig, at Persondataloven vil stille udfordringer op om deling og samproduktion af data. Det er vigtigt, at der tages hensyn til privacy og øvrige etiske forhold omkring udnyttelsen af data", slutter Carl-Emil Larsen.



KL:

## Behov for klare sigtelinjer

På vandområdet er de danske kommuner stærkt optaget af energiforbruget – og dermed også af forebyggelse af fremtidige klimaforandringer.

”En mulighed er at arbejde med energineutralitet i rensningsanlæg og integrere dette i Smart Cities infrastrukturen”, siger chefkonsulent Lars Kaalund.

Han efterlyser samtidig større fokus på den enkelte borger:

”I forbindelse med mange vandteknologiprojekter er det afgørende at sikre sig et grundlag af viden om borgeres egentlige adfærd, ikke kun den, de selv rapporterer. Her kunne design-antropologiske værktøjer være relevante”.

Kommunerne møder mange udfordringer i det daglige arbejde med klimatilpasning, forklarer Lars Kaalund, KL:

”For nogle år siden indførte regeringen den såkaldte ”medfinansieringsordning”, hvor kommuner og forsyningsselskaber sammen kunne skabe klimatilpasning i form af vandhåndtering på overfladen. Det resulterede i en samlet projektportefølje på 104 projekter. Den samlede projektsum var 1,1 mia. kr., hvilket var 3,3 mia. kr. billigere end de tilsvarende traditionelle rørløsninger. Det skabte stor udvikling hos selskaber og rådgivende ingeniører. Pr. 1. januar 2016 ændrede regeringen ordningen, som nu er gået helt i stå. Med stop-and-go politik kan man ikke skabe udvikling og ny viden i en traditionel branche som vand- og spildevandsforsyning. Der skal være lange og klare sigtelinjer, hvis man vil ændre teknologien i så investeringstung en sektor”.

# Vand ind og ud af byer: Spildevand - fra problem til ressource

Indholdet af energi og næringsstoffer i spildevandet skal udnyttes i den cirkulære økonomi. Digitalisering er en del af løsningen.



Traditionelt har det været to separate områder at sikre rent drikkevand i byerne og at komme af med byernes spildevand. I sektoren begynder man imidlertid i stadig højere grad at planlægge de to typer af systemer med indbyrdes hensyntagen. Man taler om "Vand ind og ud af byer".

Internationalt er der markante udviklinger i gang udløst af, at klimaændringer fører til tørke i tæt-befolkede, tørre områder. Eksempler er Barcelona i Spanien, Gold Coast i Australien og Orange County i Californien. Blandt andet udvikles der nye løsninger til afsaltning af havvand samt rensning af spildevand op til drikkevandskvalitet (Direct Portable Re-use), og der arbejdes med både centraliserede og decentraliserede teknologiscenarier. Der tales om den Fjerde Vandrevolution (Water 4.0).

I Danmark er vand- og spildevandsforsyning i stort omfang blevet samlet i fælles selskaber over de seneste år. Store investeringer i klimatilpasning i byerne fører fx til etablering af både vejstrækninger og tunneller til at håndtere skybrudsvand. Samtidig opsamles betydelige volumener af relativt rent ferskvand – en ressource, der kunne udnyttes. Dette fordrer imidlertid, at vandkvaliteten er høj nok til en given anvendelse (Water Fit For Purpose) – eller at vandet kan behandles, så det opnår den relevante kvalitet.

Desuden fusioneres mange forsyninger, så de bliver større. Det giver dels en stigende professionalisering, dels en stigende centralisering af vandbehandling.

Samtidig skal vandbehandlingen – både af drikkevand og spildevand – være baseret på miljøvenlige processer. Der er stigende fokus på bæredygtige og CO<sub>2</sub>-neutrale processer, ofte biologiske.

## Virksomheder renser vandet selv

Efterhånden har de fleste danske og internationale virksomheder udarbejdet målsætninger om at effektivisere både økonomisk og ressourcemæssigt. Kombineret med at forsyningsselskaber og virksomheder, som forbruger vand, er blevet større, er der flere og flere, som er begyndt at se muligheder i en mere holistisk tilgang til vand. Det har skabt interesse for at koble teknologi fra flere sektorer sammen.

Fx begynder fødevarerproducenter i stigende grad selv at rense vand, så det kan genbruges og dermed nedbringe udgifter til bl.a. afledning. Bagsiden af udviklingen kan være, at de klassiske, fælles rensningsanlæg bliver udfordret, hvis de efterhånden skal modtage væsentligt mindre mængder organisk materiale og næringsstoffer i spildevandet, end de var dimensioneret til.

Et andet eksempel er netop spildevandsrensningen, hvor man de senere år har øget udvindingen af energi fra spildevandet, således at energiforbruget til behandlingen reduceres. I nogle tilfælde produceres endda netto strøm til elnettet, og der tænkes i dynamisk systemintegration med bæredygtige energiformer som vind og sol. Parallel indvinding af fx næringsstoffer fra spildevandet er et andet vækstområde. Begge eksempler kobler teknologier



på tværs af sektorer sammen, hvilket stiller nye krav til de teknologiske komponenter, som skal indgå i sådanne nye integrerede systemer. Dette åbner op for nye fleksible og it-smarte teknologiske produkter. Der er også behov for udvikling af nye værktøjer til at understøtte denne udvikling. Der vil nemlig gennem koblingen til fx elnettet kunne skabes helt nye afhængigheder med sektorer, som traditionelt set ikke er koblet til vandsektoren.

Den øgede tilgængelighed af billige, små sensorer og computerkapacitet til at behandle de voksende datamængder vil give øget viden om processer og distributionsanlæg. Droner kan bære sensorer, der kan bruges til at overvåge utætheder i ledningsnet, og større projekter kombinerer sensorer og ledningsnetsmodeller til at reducere vandtab. Sensorer vil øge informationen om vandkvaliteten i både drikkevandsledningsnet og i spildevand.

### Vedligehold af sensorer kan effektiviseres

Med tilgængelighed af billige sensorer, der måler i realtid, kan man rejse spørgsmålet: hvorfor modellere, når man kan måle direkte? Imidlertid vil der givetvis være behov for yderligere modeller for processer, behandling og distribution - og behov for at udbygge brugen af modeller i realtid som "den virtuelle tvilling". Dette vil give muligheder for både at forudsige og planlægge såvel som at analysere for årsagen til opståede fejl, og dermed bruge modeller til at generere data, der kan bruges til at styre driften.

Når samme forsyningsselskab håndterer hele det urbane vandkredsløb, bliver det muligt at udnytte information fra det ene system i det andet. Fx kan "uvedkommende vand" i form af indtrængende grundvand i kloakker identificeres ved at udnytte et detaljeret kendskab til vandforbruget.

Udviklingen rummer imidlertid også nye udfordringer. Alt andet lige betyder den øgede kompleksitet i vandbehandlingen, når man skal håndtere flere forskellige kvaliteter af vand, at energiforbruget vokser.

Samtidig er der stigende opmærksomhed omkring omkostningerne ved drift af sensorbaserede systemer. Sensorer kræver vedligeholdelse for at være pålidelige - og upålidelige sensorer er vanskeligere at håndtere end ingen. Her ligger der et stort potentiale i udvikling af værktøjer, som baseret på dyb forståelse af processer i systemerne samt statistisk beskrivelse af støjfænomener knyttet til den konkrete sensorinstallation automatisk overvåger kvaliteten af on-line data fra sensorer og gennemfører korrigerende handlinger.

Vandlednings- og kloaknettet er generelt af ældre dato og kræver vedligeholdelse. Det kræver opgravninger, som generer gadebilledet og trafikken. Løsningen er såkaldt asset management, hvor man sørger for at vedligeholde på de rigtige tidspunkter. Det omfatter en kompleks afvejning af omkostningerne ved gravearbejde, fx ved at tildække en opgravning i en periode for at genere trafikken mindst muligt, men for så at grave den op igen senere - mod omkostningerne ved tabt arbejdstid ved kødannelse pga. opgravning.

### Vand som handelsvare eller fælles gode?

Koblinger på tværs af sektorer begrænses i nogen grad af silotænkning. I et teknologisk perspektiv er det derfor relevant at fokusere på hvilke krav, der stilles til vandkvalitet i forskellige anvendelser. Udfordringerne bliver større, når der er flere selskaber i værdikæden, fx fødevarereproducenter og forsyningsselskaber.

Lige som for de fleste andre sektorer i samfundet er der et stort potentiale for at gøre vandsektoren mere effektiv gennem digitalisering. Det man også kalder Industri 4.0. Samtidig giver Big Data og de mange nye digitale værktøjer mulighed for at udvikle radikalt anderledes løsninger og forretningsmodeller.

Nye forretningsmodeller er både velkomne og nødvendige for, at sektoren kan udvikle sig. Imidlertid er der grund til at være varsom, når man udformer modellerne. Gennem mere end 100 år har vand været betragtet som et alment gode og en del af vores fælles arv som mennesker. Adgangen til rent vand er tilmeldt i 2010 nedskrevet som én af FN's menneskerettigheder. Vi må være opmærksomme på, at digitalisering kan være med til at åbne for udhuling af borgerens ret til vand. For eksempel gennem såkaldt mikro-prissætning. I sidste ende kan det føre til, at vand bliver genstand for udsving i udbud og efterspørgsel lige som alle andre forbrugsvarer. Det vil have gennemgribende og uoverskuelige konsekvenser.

I det hele taget er det en udfordring at skabe ekstra værdi for forbrugerne. Digitaliseringen åbner for nøjagtige, fjernaflæste målinger af vandforbruget. Men hvordan kommer den øgede viden forbrugeren til gode?

Sensor med skidt fra spildevand  
Foto: Ravi Kumar Chhetri,  
DTU Miljø





BIOFOS:

## Vandsektorloven bremser innovation

BIOFOS er Danmarks største spildevandsvirksomhed. Virksomheden renser spildevandet for 1,2 mio. indbyggere i hovedstadsområdet på rensningsanlægene Lynetten, Avedøre og Damhusåen.

BIOFOS er pionervirksomhed med hensyn til at udnytte ressourcerne i spildevandet til produktion af energi i form af el, biogas og fjernvarme til forsyningsnettet.

"Som den største virksomhed af sin art i landet føler vi en særlig forpligtigelse til at bidrage til udviklingen af ny teknologi til branchen", siger udviklingschef Dines Thornberg, BIOFOS og fortsætter:

"Vi tager altid udgangspunkt i vore egne strategiske mål, og så vidt det er muligt inden for de lovgivningsmæssige rammer, søger vi også altid at inddrage danske universiteter og virksomheder i projekterne. På den lange bane arbejder vi pt. med at genanvende fosfor fra slam samt at rense medicinrester og mikrop-last ud af spildevandet. Endelig vil vi gerne mindske CO<sub>2</sub>-udledningen fra vore anlæg".

"De senere år har regimet for forsyningsselskaberne imidlertid ændret sig. Hvor den dominerende fokus tidligere var at opfylde miljøkrav - selvfølgelig på en effektiv måde - handler det nu alene om, at vi skal spare 2-4 % årligt", siger Dines Thornberg, BIOFOS og tilføjer med et hjertesuk:

"Vi er meget opmærksomme på at få så meget medfinansiering fra danske og internationale udviklingsprogrammer som muligt. Der kan dog aldrig opnås 100 % finansiering, hvorfor vi som selskab også selv skal finde midler hertil. Dette kan vi kun gøre ved at være endnu mere effektive end reguleringen lægger op til, hvilket gør det meget svært at finde økonomisk råderum til at investere i innovative, fremadrettede løsninger".



AVK:

## Industri 4.0 for vand

AVK Danmark A/S er en del af AVK gruppen. AVK gruppen er en af verdens førende ventilproducenter inden for vand- og gasforsyning, spildevandsbehandling samt brandbekæmpelse. AVK gruppen har virksomheder i en lang række lande verden over og beskæftiger flere end 3.800 medarbejdere - heraf ca. 650 i Danmark.

”Særligt reguleringsventiler til brønde er et vigtigt forretningsområde. Ventilerne kan sænke trykket. På den måde kan man mindske belastningen af systemet og forbedre sin asset management. På drikkevandsområdet er der modsat kloakområdet tryk nok til at registrere fejl og nedbrud i brøndene”, forklarer markedschef Tommy Porsmose.

På gasområdet udvikler AVK i disse år en Industri 4.0 forretningsmodel i samarbejde med britiske gasselskaber. Her sørger sensorer i systemet for indsamling af data, der bl.a. udnyttes til systemkontrol samt forebyggelse og afdækning af fejl.

”Vi vil gerne udbrede modellen til vandområdet. Man kunne forestille sig, at vi med ventiler, Grundfos med pumper, Danfoss med elektronik og styresystem, Silhorko med tanke, og Siemens med IT og styring går sammen om udvikling og salg af systemer”, siger Tommy Porsmose.

I den sammenhæng savner de danske virksomheder dog efterspørgsel fra deres hjemmemarked:

”Det er en udfordring for forsyningssektoren i Danmark, at den består af et meget stort antal forsyningselskaber, hvoraf mange er små. Konsolideringen er simpelthen for lille”, siger markedschefen og tilføjer: ”Desuden er der for lidt samarbejde mellem erhverv og forskning inden for vand i Danmark”.

# Forvaltning af vandressourcer: Målrettet regulering kræver Big Data

De mange nye teknologier, som er i stand til at skaffe data for vandmiljøets tilstand, er uomgængelige, fordi forvaltningen bliver stadig mere detaljeret.

Siden 2000 har EU's Vandrammedirektiv sat en ny dagsorden for administrationen af vandressourcer i Europa. Visionen er en sammenhængende håndtering i hele vandets kredsløb. Det indebærer at afveje en lang række forskellige påvirkninger. Hvordan skal man for eksempel veje hensyn til erhvervsmulighederne for landbrug og skovbrug op mod hensynet til rent drikkevand? Den praktiske udmøntning af en helhedsorienteret administration af vandressourcen stiller store krav til samarbejde med forskningen. Især er der et stort behov for troværdige simulationsmodeller, der kan vise, hvordan foreslåede aktiviteter vil påvirke vandressourcerne.

Specielt på landbrugsområdet har der været et stærkt ønske i Danmark om nytænkning. Blandt andet efterlyste Natur og Landbrugskommissionen i 2013 en målrettet decentral regulering af landbrugsområdet i forhold til især vandmiljøet. Det samlede mål er fortsat et bedre vandmiljø, men virkemidlerne og målsætningerne er lokale eller regionale og ikke nationale.

Ideerne har også betydning på jordforureningsområdet, hvor der er udviklet nye værktøjer, som mere nuanceret i forhold til tidligere vurderer risikoen for grundvandsforurening fra forurenede grunde. Blandt andet skal der nu være større villighed til at tage chancer. Der skal med andre ord ikke være en nul-fejlskultur.

Endelig er der et samfundsmæssigt ønske om at afveje indsatser på miljøområdet fx i udmøntningen af Vandrammedirektivet. Fra fagligt hold er der bekymring for, at det bliver en ensidig økonomisk afvejning, hvor miljøet ikke spiller en væsentlig rolle. Administrativt har man ved samlingen af miljø (pesticider, forurenede grunde, osv.), natur og vandmiljø hos Miljøstyrelsen i 2018 for første gang siden strukturreformen i 2007 foretaget et lille skridt i retning mod en enhedsforvaltning af vandområdet.

## Værdien af historiske data er undervurderet

Helhedsorienterede løsninger kræver et stort overblik og mange data. Målrettet regulering afføder et væsentligt behov for at monitere på et meget detaljeret niveau, så effekten kan vurderes løbende. Der er både behov for målinger, som er detaljerede i både tid (ekstreme hændelser, kontinuert) og i rum (markniveau, vandløbstrækninger, udledningspunkter, osv.).

Derfor skal mulighederne for at indsamle nye typer af data med nye metoder udnyttes. Det gælder automatiseret indsamling af data fra sensorer, men også data, der indsamles via smartphones, droner og satellitter.

Satellitbaserede tjenester til observation af Jorden rummer en lang række muligheder for vandsektoren. For eksempel kan satellitterne levere særdeles nøjagtige kort over omfanget af overfladevand og af vandstanden. Desuden kan man få målinger eller proxydata for en lang række andre forhold som fordampning, jordbundens fugtighed, nedbør og koncentrationer af alger og andet plantemateriale i vandet, og klimadata. Satellitdata bliver jævnligt opdateret og stillet gratis til rådighed for brugerne, og der er leveringsgaranti mange år frem i tiden. Anvendelsen af droner er i kraftig vækst, og droner kan bl.a. udgøre et godt supplement til satellitdata. Mens satellitterne følger fastlagte baner, er dronerne fleksible og kan hurtigt dirigeres derhen, hvor der opstår behov for at få data fra. Desuden flyver droner meget tættere på overfladen, hvilket giver dem mulighed for at skaffe en række data, som er uden for satelliternes rækkevidde. Det gælder eksempelvis oplysninger om strømning i vandløb. Teknologierne er i rivende udvikling, og tilgængeligheden af især satellitdata er stærkt stigende. Droner er omfattet af stor opmærksomhed. Under forudsætning af, at flyvningerne ikke stækkes af lovgivningsmæssige barrierer, har droner mange endnu uudnyttede muligheder, især hvis flyvninger "ude af sigt" bliver tilladt.



Drone med radar  
højdemåler under  
opmåling af vandløb.  
Foto: Filippo Bandini og  
Christian Josef Köppl,  
DTU Miljø





Udfordringerne er bl.a. håndtering af enorme mængder af data, herunder oversættelse og rensning af data til brugbare målinger, som kan bruges fx i rutinemæssig monitoring og ikke kun i forskningsmiljøer. Desuden skal alle de nye typer af data sammenlignes med eksisterende data, som måske har en anden karakter - de kan være lagret i databaser eller findes i trykte rapporter. I den sammenhæng er det vigtigt at huske værdien af de historiske data. Hvad er fx "baseline" for de værdier, som vi måler i vandmiljøet i dag, og for klimatiske variable som udsving i temperatur og nedbør? Det er allerede et stort problem, at data i gamle databaser enten ikke udnyttes eller helt går tabt. Et skræmmeksempel her er tabet af data for grundvandet og forurenede grunde i forbindelse med kommunalreformen i 2006, hvor amterne blev nedlagt og forvaltningen opdelt på stat, regioner og kommuner. Hvordan sikrer vi fremadrettet, at data bliver bevaret og udnyttet intelligent på trods af organisatoriske forandringer?

#### **Kan vi stole på indirekte miljøindikatorer?**

Det er endnu ikke muligt fra en computer at bestille en prøve fra et udvalgt sted i miljøet. Målemetoderne er udfordret af behov for vedligeholdelse og tilsyn, da sensorerne ikke er robuste nok og kræver løbende "on site" kontrol af datakvalitet. Der anvendes sensorer i mange systemer i dag for generelle parametre (pH, ilt, temperatur, *E. coli* osv.) og salte (N, P, Cl osv.), som fungerer fint på fx rensningsanlæg, hvor der er driftspersonale tilstede, som kan udføre daglige tilsyn uden store ekstra omkostninger til kørsel, m.v. Måleteknisk er der imidlertid i miljøet behov for sensorer, som kan måle på miljøfremmede stoffer i mikrogram/liter niveau og gerne på en række stoffer samtidigt. Dette er ikke muligt i dag.

Det leder til et nyt spørgsmål, nemlig anvendelsen af såkaldte proxydata. Ofte er der mulighed for at måle indikatorer i stedet for at måle kemiske koncentrationer direkte. Er det acceptabelt, at man bruger indirekte data? Hvis der ikke kan opnås accept, bliver vi nødt til fortsat at måle de traditionelle parametre som kontrol.

Endelig er der behov for at udvikle modeller på mange niveauer. Det drejer sig om modeller til afprøvning af data og intelligent prøvetagning, modeller, som anvender de indsamlede data og tager højde for usikkerhederne, samt modeller til beslutningsstøtte.

Anvendelse af nye datatyper, proxydata og Big Data er på vej på mange områder, men vandmiljøområdet har kun i begrænset omfang taget det i brug. Det skyldes måske et stærkt ønske om at forstå data og processer blandt fagfolk inden for området eller manglende kontakt mellem teknologiudviklere, IT-området og de vandmiljøfaglige miljøer.

#### **Samarbejde på tværs af miljø, IT og kommunikation**

Udløsningen af potentialet i området kræver meget tæt kontakt mellem fagmiljøer og områder, som kan håndtere de teknologiske udfordringer. Dybtgående faglig indsigt i processer, datakilder og behov på vandmiljø- og infrastrukturområdet skal kobles med fagmiljøer med indsigt i sensorteknologi, "machine learning", databaser, algoritmer for kvalitetssikring og optimering.

Tværfaglighed inden for vandområdet har traditionelt været på det naturvidenskabelige område (miljøingeniører, miljøkemikere, biologer og mikrobiologer, geologer, geografer, geofysikere osv.). Tværsektorielt eller bredere fagligt samarbejde med andre områder bortset fra det økonomiske er meget sparsomt. Det burde styrkes, da helhedsorienterede løsninger ikke blot er naturvidenskabelige. Der ligger meget store potentialer i at mobilisere ingeniørkompetencer bredt inden for vandområdet. Samtidig bliver formidling og kommunikation essentielt, da budskaberne er komplekse. Nogle budskaber vil tilmed være upopulære - "du skal leve med en større risiko" eller "der kommer ingen løsning på dit problem". Det vil derfor være formålstjenligt også at orientere sig mod andre faggrupper og miljøer som antropologi, arkitektur, retorik, film og medier. Dette gælder for alle tre temaer, der har indgået i dette projekt - Klimatilpasning, Vand ind og ud af byer, og Forvaltning af vandressourcer.



Aarhus Vand:

## Prognoser for regn optimerer kloaksystemet

Aarhus Vands kerneforretning består i at levere drikkevand, rense spildevand, vedligeholde kloaksystemer, tilpasse udsatte områder mod klimaforandringer og beskytte grundvandet.

”Vi ser store fremtidige muligheder i at tilbyde ydelser til både fremstillingsvirksomheder og boligkomplekser”, siger adm. direktør Lars Schrøder, Aarhus Vand.

Forsyningsselskabet etablerer blandt andet en ny radar, der kan give præcise prognoser for nedbør i de kommende minutter og timer. Når man har styr på mængden af nedbør, kan man optimere kloaksystemet og forudsige, om der vil forekomme overløb af kloakvand, der midlertidigt kan føre til nedsat vandkvalitet.

”Den type oplysninger er for eksempel interessante for de bynære vandområder, der i højere og højere grad anvendes til rekreative formål”, forklarer Lars Schrøder.

Andre fremtidige indsatsområder bliver energioptimering, energiproduktion og ressourceudnyttelse, som fx at udvinde fosfor, der kan bruges som gødning, fra vandet.

Direktøren frygter samtidig, at niveauet af innovation i vandbranchen bliver for lavt:

”De kommunale forsyningsselskaber er i høj grad optaget af drift, og i mindre grad af forskning og udvikling. Det skyldes blandt andet, en meget rigid og stram økonomisk regulering med ensidig fokus på effektiviseringer”, siger han.

## Tværgående teknologisk udvikling:

# Digitalisering er den nye dagsorden på vej mod systemintegration

I dag er der ofte mangel på data, eller data som ikke bliver brugt. Uanset om man ser på klimatilpasning, spildevand, drikkevand, procesvand, regnvand eller miljøovervågning, trænger digitalisering, Big Data og kunstig intelligens sig på med nye muligheder og udfordringer.

### Nye metoder til overvågning af vand

Forskningen har meget at byde på inden for overvågning af vand. Det gælder blandt andet inden for optiske sensorer. Optiske metoder muliggør potentielt automatisering af målinger, som hidtil er blevet udført på gammeldags vis med udtagelse af repræsentative prøver med efterfølgende kemisk analyse on-site eller i laboratoriet. Forskere på DTU arbejder på at udvikle en række sensorsystemer, der vil kunne fungere i vandtyper med forskellig forureningsgrad. Det gælder både på fundamentalt niveau med undersøgelse af helt nye detekteringsprincipper ved hjælp af lys og mikrochips, og med hensyn til den praktiske anvendelse af kendte og nye måleprincipper.

Desuden er der fokus på kommunikation med sensorer samt den mest effektive behandling af data. I nogle tilfælde kan en sensor integreres med den hard- og software, som aflæser og fortolker. I andre tilfælde skal data overføres over store afstande til centrale servere, som fortolker sensorens signaler og træffer beslutninger i samspil med andre systemer.

Et beslægtet område er fiber-baserede sensorløsninger. Her ledes lys gennem en optisk fiber og detekteres efterfølgende. Ydre påvirkninger af fiberen kan derfor aflæses i det transmitterede eller reflekterede lys. Her er den optiske fiber i fysisk kontakt med vand. Sådanne løsninger er specielt anvendelige til detektering af små mængder ønskede eller uønskede stoffer, samt måling af temperatur og pH på udvalgte positioner i en vandmasse. Da sensoren er en optisk fiber, er distribuerede målinger af kvalitet og integritet oplagt.

Sensorløsninger baseret på refleksion eller absorption af lysstråler gør det muligt at analysere vand uden fysisk kontakt mellem vand og sensor. Dette muliggør

meget specifikke fjernmålinger af vandkvalitet. Desuden muliggøres målinger i situationer, hvor traditionelle kontaktbaserede sensorer ikke kan benyttes. Sådanne kontaktfri sensorer kan anvendes til måling af bundfældning/sedimentering, kvantificering af vandindhold i slam, måling af organisk partikelindhold (fækalier, mikroplast), samt ikke-destruktiv 3D afbildning af den indre integritet af for eksempel betonrør. Endelig kan UV-lys videreudvikles til mere specifik og effektiv in-situ desinfektion af vand uden brug af kemikalier.

### Industri 4.0 i vandsektoren kræver ny IT

Det er en klar tendens, at der indsamles flere og flere målinger, fordi myndigheder og anlægsejere øger kravene til dokumentation, og fordi den teknologiske udvikling gradvist gør det billigere at måle. Da mange af vandsystemerne er komplekse, både de tekniske og de naturlige, kan det imidlertid være svært at opnå den ønskede indsigt baseret på målinger alene. Informationsniveauet kan hæves gennem viden om dynamikken i det fysiske system, opnået gennem traditionelle systemmodeller baseret på systemdata eller gennem "machine learning" baseret på observationsdata. Uregelmæssigheder kan så detekteres ved i realtid at sammenligne målinger med modeller. Er der sket ændringer i vandets beskaffenhed, er der sket brud, er vandløbet gået over sine bredder eller noget helt fjerde?

Et af de valg, som skal træffes i en Industri 4.0 sammenhæng, er, om software og data skal ligge på computere, som ejes af virksomheden, forsyningselskabet eller myndigheden - eller om driften flyttes til skyen. Samtidig øger det stigende antal sensorer behovet for at dokumentere, hvad de enkelte målinger repræsenterer.



Desuden er der behov for at udvikle stadig mere sofistikerede metoder til bl.a. data-mining og intelligent mønstergenkendelse ("machine learning"), der giver os mulighed for at udtrække flere nyttige indsigter fra mange datakilder og herunder proxydata.

I økosystemet for vandteknologi er data-værdikæden organiseret over en række aktører fra forsyningsselskaber, rådgivende ingeniørvirksomheder, producenter af vandteknologi, vandforbrugende virksomheder, forskningsinstitutioner og andre offentlige institutioner og private husholdninger. Sektorudviklingsprojektet har demonstreret, at der ligger potentiale for betydningsfulde indsigter i krydsfeltet af data på tværs af de enkelte led i værdikæden. Fx fra vandværkets oppumpning af grundvand eller rensning af spildevand på rensningsanlægget, rådgivning, udvikling af vandteknologi, anvendelse af grundvand eller rensset spildevand hos vandforbrugende virksomheder eller offentlige institutioner eller i private husholdninger.

#### **Aftaler om deling og samproduktion af data**

Arbejdet i projektet har afklaret, at datasikkerhed og privacy er så vigtige temaer for udveksling og samproduktion af data på tværs af værdikæden i økosystemet for vandteknologi, at de udgør et selvstændigt, centralt problemfelt. Der er behov for særlige forholdsregler for at beskytte data og software mod ulovlig indtrængen, herunder cyber-angreb. Det er væsentligt at etablere denne sikkerhed for at give interessenterne den tryghed, der gør, at de vil indgå i projekter om digitalisering. De datasikkerhedsmæssige udfordringer beror dels på, at vi har at gøre med systemer med mange komponenter, som agerer uafhængigt af hinanden, og dels på at systemerne, takket være deres kommercielle og samfundsmæssigt strategiske betydning, vil være oplagte mål for cyber-angreb.

#### **Systems Engineering**

Midt i bestræbelserne på at digitalisere den danske vandsektor må man ikke glemme, at der også er en række andre områder, som kalder på indsats. Nogle af dem i øvrigt til dels med anvendelse af digitalisering.

Når forsyningsselskaberne skal indfri forventninger om at effektivisere, efterspørger de meget naturligt værktøjer til at lykkes bedre med det. Den klassiske bredt favnende ingeniørdisciplin Systems Engineering, som netop går ud på at effektivisere komplekse systemer, får her en ny aktualitet.

#### **Sikkerhed og kvalitet af vand ifm. fødevareproduktion**

Vand indgår i produktionen af fødevarer og ved rengøring i fødevareindustrien. Derfor har vandkvaliteten betydning for sikkerheden og kvaliteten af de færdige fødevarer.

Set fra både myndigheders og virksomheders synspunkt er det vigtigt at kortlægge de fysiske, kemiske og mikrobiologiske risici ved enhver fødevareproduktion. Ændringer i vandkvalitet eller vandtyper (fx rensset havvand) eller genbrug af vand ved recirkulering vil altid betyde, at der skal kigges på de risici, det eventuelt medfører. Industrien og myndighederne har brug for værktøjer til at håndtere disse risici inden for deres kvalitetsstyringssystemer og sørge for overholdelse af de gældende forordninger, for at sikre at vandet der bruges er sikkert.

For at sikre forsvarlig håndtering af vand i fødevareindustrien er det nødvendigt med forskning i virkningen af både eksisterende og nye vandbehandlingsmetoder på de relevante stoffer/organismer i relevante vandtyper. Desuden skal der udvikles målemetoder og strategier, som kan bruges til håndtering, dokumentation og monitorering af systemets stabilitet. Endelig skal der udarbejdes systemer til håndtering af afvigelser, så fødevaresikkerheden ikke kompromitteres. Virksomhederne i fødevareindustrien er storforbrugere af drikkevand og interesserede i at reducere forbruget. Dog skal der være de rigtige økonomiske, cirkulære og klimatiske bevæggrunde til at kigge på alternativer til grundvand. Dette aspekt bør derfor også indgå i vurderingen af teknologiske løsninger.

#### **Nye metoder til at afdække brugerbehov og forandringsbehov**

I udviklingen af en digitaliseret forsyningssektor er det vigtigt, at data afspejler brugerbehov så præcist som muligt. Det gælder både brugerbehov hos privatforbrugere af vand og hos brugere såsom offentlige institutioner og private virksomheder. Det gælder også for professionelle grupperingers kulturbestemte, men ubevidste måder at arbejde med data på, og det gælder organisationers behov for rapportering af økonomiske og miljømæssige nøgletal til myndigheder.

Typisk afdækker man brugerbehov vha. interviews og fokusgrupper. Problemet med disse værktøjer er, at de afdækker selvrapporterede og holdningsbaserede behov, som ikke ligesom handlingsbaserede behov når helt ned til kernen af brugerbehovet. For netop at råde bod på dette kørte der i Danmark i sidste

halvdel af 00'erne store erhvervsfremmeprogrammer om brugerreven innovation og servicedesign, hvor observation af både arbejdsprocesser, professioner og organisationer indgår for at afdække handlingsbaserede behov. Designantropologi er siden vokset frem som et forskningsområde på grænsen mellem fysiske, sociale og digitale miljøer med fokus på produktudvikling. Sociologer er begyndt at studere professionelle grupperingers adfærd og risikopfattelser, og forskellige former for forandrings- og innovationsstudier bliver gennemført med vandsektoren som fokus.

Virksomheder i rådgivningsbranchen specialiseret i vandteknologi gør allerede brug af disse værktøjer. Man kan forestille sig, at der gradvist vil opstå behov for at afdække handlingsbaserede behov hos brugere, specialister og organisationer i dybden, i takt med at man forsøger at producere data vha. digitalisering. Der kan derfor muligvis være god grund til at forske i udvikling og afprøvning af antropologiske og sociologiske metoder specifikt inden for vandsektoren.

Et andet nyt felt bliver tjenesteydelser inden for vand. Inden for andre områder har man set nye forretningsmodeller, der i høj grad baserer sig på service. Et eksempel er virksomheder, der ikke selv ejer deres bilpark, men leaser den. Kan man forestille sig en tilsvarende udvikling på vandområdet, og hvordan skal forretningsmodellerne konkret se ud?

### **Når kloakdækslet bliver "intelligent"**

Forsyningssektoren omfatter som bekendt mere end vand, og i de senere år er der kommet øget interesse for at opnå synergi med andre delsektorer.

En af nøglerne til at lykkes med dette er etablering af samarbejdende autonome systemer på tværs af de nævnte sektorer. I vandsektoren kan et rensningsanlæg, et ledningssystem eller et vandværk være autonome systemer, men det kan også være vandteknologiske komponenter som sensorer og pumper, der i dag ikke samarbejder i nævneværdig grad. På sigt skal man forestille sig, at den vandrelaterede forsyningssektor bliver en integreret del af Smart Cities tankegangen, hvor sektorerne energi, vand, affald og opvarmning/afkøling og bygnings- og transportinfrastrukturen fungerer integreret mhp. at udvikle miljømæssigt bæredygtige byer.

Forventningen er, at samarbejdende autonome systemer med høj virkekraft kan integrere forsyningssektorer på tværs og med bygnings- og transportinfra-

struktur - og det med store effektivitetsforbedringer og kvalitative forbedringer som resultat. Et eksempel er, at de mest energikrævende processer på et rensningsanlæg kan forskydes i tid, så de finder sted, når prisen på strøm er lav grundet tilgængelig vind- eller solenergi. Andre eksempler er at styre afviklingen af trafikken afhængigt af vejret og at udvikle "intelligente" kloakdæksler, som er selvforsynende med energi og i stand til at måle forhold i såvel kloaksystemet som byrummet. Forskning i samarbejdende autonome systemer af vandteknologi mv. kan derfor tænkes at ville blive vigtig fremadrettet.

Endelig må man ikke glemme, at selvom sektorudviklingsprojektet peger på en lang række positive effekter af at digitalisere vandsektoren, kan der også være bagsider. En af dem er, at en digitaliseret vandsektor vil være et potentielt mål for digital industrispionage og andre typer af hackerangreb. Cyber-sikkerhed får derfor endnu større vigtighed fremover.

### **Intet marked uden slutbrugere**

Fælles for databehov og modeller er, at der skal være et udtalt behov hos slutbrugerne, hvis der skal være et marked. I Danmark er det i høj grad myndighedsopgaver, hvor bl.a. Miljøstyrelsen har udtrykt et behov for især automatiserede metoder til dataindsamling (billigere, bedre, flere). Modelbehovet er også formuleret og især behovet for usikkerhedsvurderinger, men mere i hensigtserklæringer end i form af konkret efterspørgsel (og finansiering) og dermed et marked.

I Innovationsfondens program Grand Solutions er der et stærkt ønske om værktøjer, modeller og produkter, som kan bruges her og nu. Det kræver en nyorientering for forskere i forhold til marked og partnere, hvor der nu er behov for et meget direkte samarbejde med aftagere af produkter, samt ikke mindst holdbare forretningsmodeller. Det kræver også nyorientering og prioritering af forsyningselskaber og teknologiproducenter at arbejde direkte sammen med forskere.

Helhedsorienterede løsninger baseret på dyb procesforståelse er derfor en mulighed/udfordring, som kan gribes. Her spiller rådgivende ingeniørvirksomheder traditionelt en vigtig rolle som dem, der hurtigt opfanger løsninger udviklet på universiteterne og sørger for, at styrelser, kommuner og forsyningselskaber bliver opmærksomme på de nye muligheder, bl.a. med udgangspunkt i databaser hos Danmarks Miljøportal, Danske Regioner, DMI og GEUS.





## Rådgiverne er vandsektorens katalysatorer

Danske rådgivende ingeniørvirksomheder er internationalt kendt for deres kompetencer på vandområdet. Eksporten af services inden for vandteknologisektoren udgjorde i 2017 0,3 mia. kr. og er siden 2010 steget med 50 % (24). Eksporten består bl.a. af indledende feasibility-studier, som danner et meget vigtigt grundlag for vandteknologiproducenternes salg på eksportmarkederne. Samtidig spiller rådgiverne en vigtig rolle som dem, der opfanger løsninger, der fx udvikles på universiteterne, og sørger for, at kommuner, forsyningsselskaber og andre aktører bliver opmærksomme på de nye muligheder. Rådgiverne er typisk mere agile og omstillingsparate end andre aktører i vandsektoren, og denne rolle stimuleres kraftigt af, at rådgiverne ansætter kandidater, der gennem studiet har været involveret i forsknings- og udviklingsaktiviteter.

De rådgivende ingeniørvirksomheder har givetvis en stor forretningsmulighed i at opbygge forretningskompetence inden for systemintegration og teknologi som understøttende funktion for sammenhængende systemer af vandteknologi (i første omgang) og energiteknologi og fødevareteknologi (i anden omgang). Bl.a. vil de her kunne trække på deres allerede eksisterende kompetence i at rådgive kunder om at skabe overblik over datastrømme og etablere aftaler om samproduktion og deling af data. Andre vigtige indsatsområder for de rådgivende ingeniørvirksomheder er at opbygge forretningskompetence og digitale platforme inden for integration af totaløkonomiske analyser og risikoanalyse samt bæredygtighedsvurdering, inden for antropologiske/sociologiske værktøjer samt i at sikre evidens og sikker implementering af teknologi.



Danfoss:

## Potentialer i digitalisering

Danfoss har ca. 26.000 medarbejdere, en årlig omsætning på over 43 mia. Dkr og er aktiv i mere end 100 lande. Virksomheden er inden for vandområdet globalt ledende mht. levering af frekvensomformere, som er grundkomponenten, der muliggør regulering af pumper, blæsere, miksere osv. til den meget varierende belastning, der er på både drikke- og spildevandsanlæggene og tilhørende rørsystemer.

Mads Warming, Global Director, Water & Wastewater udtaler, at "Industrial Internet of Things (IIoT) har stort potentiale, men har også behov for at blive konkretiseret til hvor der er helt konkret værdi for kunderne, ligesom der skal tages hånd om datasikkerhedsproblematikken".

Danfoss arbejder inden for vandområdet med Digitalization, hvor øget anvendelse af sensorer og frekvensomformere kombineret med avanceret proces control har genereret markante resultater i vandsektoren, både mht. energi neutralitet, lav lækage og reduceret investeringsbehov. IIoT forventes yderligere at kunne bidrage til både OPEX og CAPEX reduktioner.

"Digitalisering af vandsektoren har fremvist markante resultater, og der er givetvis meget mere at hente. Derfor er der behov for yderligere forskning og udvikling samt demo-projekter", siger Mads Warming.



# Digitaliseringsmodel for vandteknologi

Dialogen i projektet med forsyningssektoren, virksomhederne og forskerne har gjort det klart, at efterspørgslen på løsninger og produkter med digitale grænseflader vokser. Det gælder både inden for Klimatilpasning, inden for Vand ind og ud af byer og inden for Forvaltning af vandressourcer. Med formålet at skabe et omdrejningspunkt for at beskrive muligheder for forskning og innovation med digitale grænseflader, er der i projektet skitseret en digitaliseringsmodel.



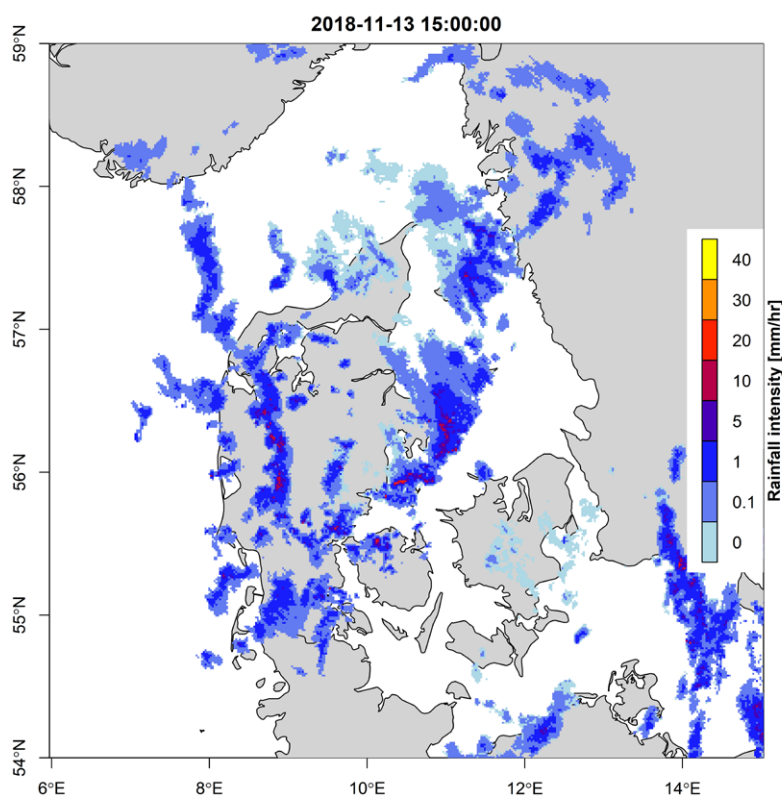
Digitalisering er et meget bredt begreb, som dækker både konvertering af analog til digital information (fx kort, sensorsignaler), udnyttelse af digitale informationer for at opnå procesforbedringer (ressourceoptimering, modellering, automatisering), og transformation af den måde, organisationer og mennesker fungerer og samarbejder på (fx crowdsourcing). Vi har i projektet forsøgt at foreslå en generel model for digitalisering i vandsektoren, som kan videreudvikles og benyttes som grundlag for at identificere udviklingspotentialer og veje dem op imod hinanden på baggrund af en fælles forståelse (se Figur 3 nedenfor).

Modellen er delvist baseret på tilsvarende tanker inden for sundhedsteknologi (26). Vi har taget udgangspunkt i temaet "Vand ind og ud af byer" og efterfølgende søgt at inddrage de andre to temaer om "Klimatilpasning" og "Forvaltning af vandressourcer". Der skelnes mellem (1) vandteknologiske komponenter og datakilder, (2) vandteknologiske systemer og anlæg, (3) digitale vandteknologiske løsninger, og (4) tværgående digitale vandteknologiske platforme. Disse fire teknologiske hovedområder er typisk adskilt både fagligt (forskellige faglige discipliner), organisatorisk (forskellige ejere eller driftselskaber) og kommercielt (forskellige producenter). Der er derfor behov for et femte, samlende niveau. Dette niveau, som vi vælger at kalde systemintegration og beslutningsstøtte, sørger for integration af to eller flere teknologier til en samlet digitaliseringsmodel

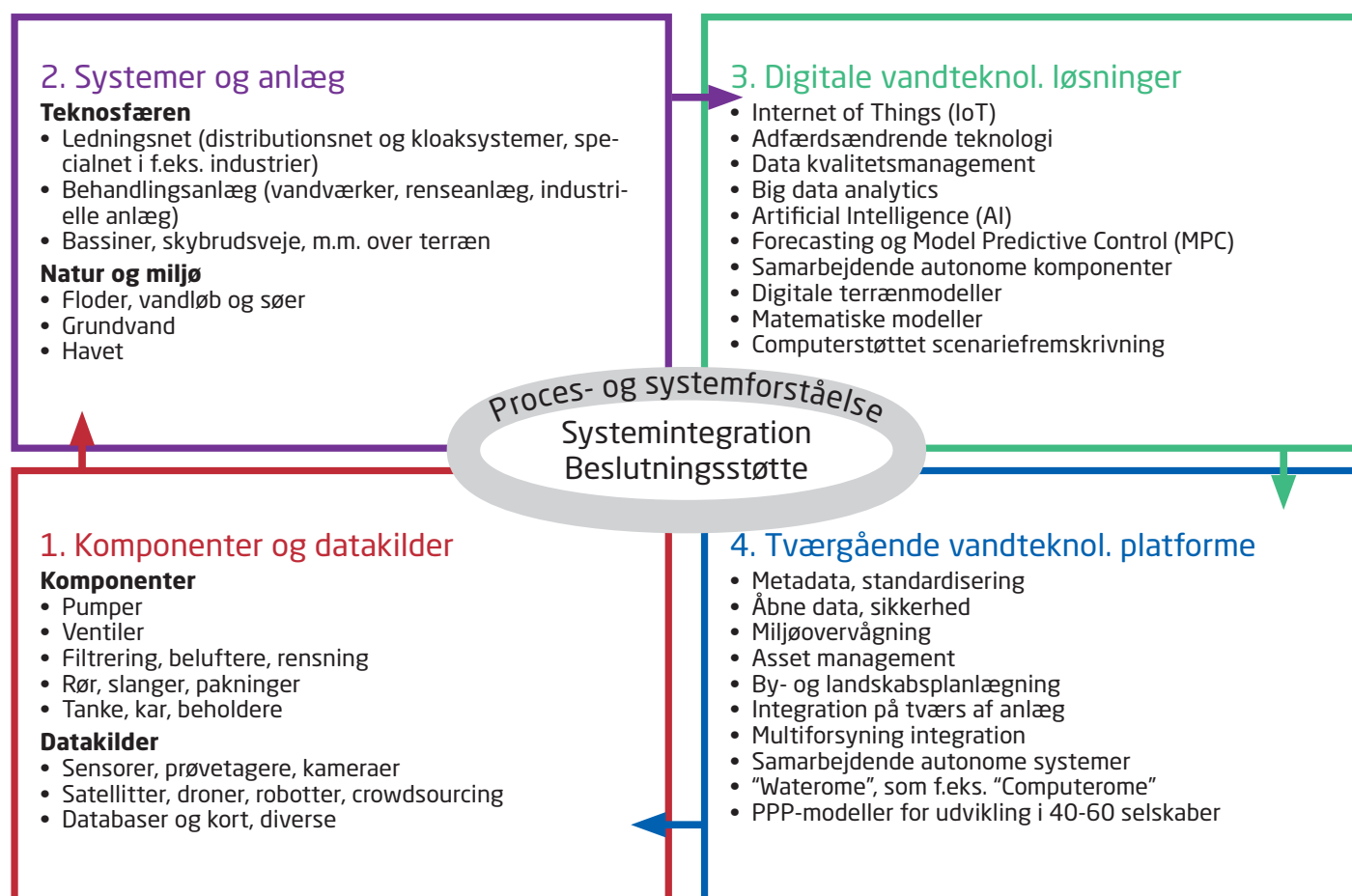
for vandteknologi. Det er vigtigt, at integrationen er baseret på dyb proces- og systemforståelse. Modellen er som udgangspunkt tænkt ud fra en operationel synsvinkel (måling, analyse, varsling, styring – baseret på en høj grad af automatisering), men den kan også bruges på et taktisk niveau (indhentning af mangearteret information suppleres med modelsimuleringer for fx at styre driftspersonales eller katastrofebedskabets indsats – baseret på menneskelig beslutningstagen med timers, dages eller ugers frist), eller på et strategisk niveau (fremtidsscenarier, konsekvensberegninger, kommunikation – for at understøtte politisk stillingstagen til langtidspaner).

Figurens koncept kan også anvendes til at beskrive industrielle behov for "vand ind og ud" af virksomheder samt digitalisering til styring af dette. Fødevarerindustrien er et eksempel på en sektor, der har et stort forbrug af vand, som der samtidig findes en række specifikke tekniske og hygiejniske krav til. Digitalisering med de rigtige sensorer og styringssystemer kan hjælpe industrien med at optimere vandforbruget og øge genbrug af vand efter evt. behandling uden at kompromittere fødevarerens sikkerhed samt at mindske udledning af spildevand til gavn for miljøet.

**Vandteknologiske komponenter** er basale mekaniske, elektriske og elektroniske komponenter som fungerer på baggrund af fysiske, kemiske og biologiske processer. Eksempler er fx pumper og ventiler, sandfiltre og membraner samt beluftere til biologiske renseprocesser, rør og slanger samt pakninger, tanke og kar samt beholdere, hvor vandbehandlingsprocesser kan foregå. Eksempler på vandteknologiske datakilder er sensorer og målere, prøvetagere og kameraer fastmonteret eller monteret på en bevægelig robot eller drone, der har til formål at overvåge fx vandniveauer og flow eller forskellige vandkvalitetsparametre. Data fra satellitter, digitale databaser og kort, samt data indhentet fra fx borgeres smartphones (crowdsourcing) hører også med til billedet. Nogle komponenter er primært mekaniske (fx et rør), mens andre er både mekaniske og elektriske (fx en pumpe eller en sensor). Nogle komponenter har elektroniske dele, der gør dem "intelligente" eller i stand til at kommunikere digitalt, og de fleste moderne sensortyper baserer sig typisk på en kombination af fysiske, kemiske og mikrobielle processer.



Eksempel på ny datakilde, nedbørsmåling med vejrradar. Baseret på data fra DMI.



Figur 3. Skitse til digitaliseringsmodel

**Vandteknologiske systemer og anlæg** findes både i teknosfæren og i natur og miljø. I teknosfæren er det fx ledningsnet og behandlingsanlæg med processer til transport, opbevaring, behandling og rensning af fx drikkevand, spildevand, industrielt procesvand, genbrugsvand og regnvand. Traditionelt har mange systemer og anlæg befundet sig under jorden eller i tekniske bygninger afskåret fra offentligheden, men behovet for klimatilpasning over terræn ved hjælp af fx skybrudsveje og naturbaserede metoder betyder, at tekniske systemer og anlæg i stigende grad vil være i kontakt med brugerne. I natur og miljø drejer det sig om vandløb og søer samt grundvand og havet. Disse er forbundet gennem det hydrologiske kredsløb og har også overlap til teknosfæren, via fx hydrauliske bygværker som dæmninger. Desuden er de påvirket af teknosfæren gennem fx oppumpning af grundvand og udledninger fra disse kilder og punktkilder.

En **digital vandteknologisk løsning** kan fx være kommunikationsløsninger, der sætter et fysisk distribueret netværk af sensorer og pumper i stand til at udveksle data og sende dem videre. Eller løsninger til kommunikation med driftspersonale eller offentlige-

den med formålet at informere eller varsle om situationer, der forudsætter personlig aktion. Det kan være et samlet styringssystem til et renseanlæg, der holder øje med en myriade af sensorsignaler og løbende opdaterer sætpunkter for pumper og beluftnings-aggregater ud fra forudsigelser af vandmængde og -kvalitet samt krav til kvaliteten af vandet, der udledes. Eller det kan være neurale netværk, der kan tolke og diagnosticere drifttilstand baseret på ellers ikke-sammenlignelige data. Systemet kan være baseret på en central modelprædiktiv optimeringstilgang eller på samarbejdende autonome komponenter, og i alle tilfælde bliver automatisk kvalitetskontrol af sensordata vigtigt. Det kan også være et integreret modelsystem til varslings af oversvømmelse (taktisk niveau) eller til fremskrivning af teknologiske fremtidsscenerier for klimatilpasning i et geografisk område (strategisk niveau). Systemerne er solidt forankret hos den ansvarlige organisation.

Det bliver til en **tværgående vandteknologisk platform**, når styringen foregår på tværs af kloaksystemet og renseanlægget for at udnytte kapaciteten optimalt under alle forhold fx ved at tage højde for



prognoser af energipriser, vejrforhold og vedligeholdelsesarbejder på systemerne. Eller når styringen af vandets veje under skybrud tager hensyn til afvikling af trafikken. Eller når der skal måles på de mange blå-grønne løsninger, der fremover bliver en del af klimatilpasningen rundt omkring i byerne, og data opsamles og lagres i de samme Open Data systemer som bruges til at melde, når byens affaldscontainere skal tømmes. I disse tilfælde bliver klare standarder for datalagring og transmission meget vigtige, fordi signaler og metadata skal udveksles mellem flere juridiske enheder/organisationer. Organisationerne kan fx have forskellige tematisk-faglige ansvarsområder inden for vandsektoren (drikkevandsproduktion, distribution, afledning, spildevandsrensning), repræsentere forskellige geografiske afgrænsninger der deler infrastruktur (adskilte forsyningsselskaber med forskellige kommunale ejere) eller repræsentere forskellige samfundsmæssige servicesektorer (vand, transport, energi, affald, mv.). Der stilles desuden i stigende grad krav om offentlighed af data, og åbne data standarder bliver derfor vigtige.

**Systemintegration og beslutningsstøtte** omfatter integration af to eller flere af de andre fire teknologiområder og kan forekomme på alle niveauer. Det kan fx være; et integreret system af (1) sensorer, pumper og doseringsenheder, der sørger for den rette hårdhedsgrad af drikkevandet i (2) hele distributionsnettet baseret på (3) trådløs IoT kommunikation af kvalitetssikrede data og modelprædiktiv styring (4) på tværs af vandværk og ledningsnet. Eller det kan være et integreret planlægningssystem, som baseret på (1) geo-spatiale databaser om terræn og arealudnyttelse for (2) natur/miljø og infrastruktur laver (3) computerstøttede scenariefremskrivninger, der kan bruges af myndigheder og forsyningsselskaber i (4) by- og landskabsplanlægningen samt den nødvendige integration på tværs af forsyningsområder.

Det er naturligvis afgørende, at den dybe proces- og systemforståelse tages med ind i disse meget overordnede integrationsprocesser. Det diskuteres intensivt i øjeblikket, hvorvidt kunstig intelligens i kombination med målinger og metadata samt modeller kan skabe digitale tvillinger, som kan bruges i denne sammenhæng.



Unisense:

## Centralisering skaber risiko for nedbrud

Unisense er en internationalt førende leverandør af mikrosensorer og målesystemer. Virksomhedens produkter anvendes især til miljøovervågning samt inden for medicinsk forskning og produktion.

”Det nye, store dyr i åbenbaringen bliver Industri 4.0 tankegangen. Vi ser gerne, at digitaliseringen bliver sat ind i en holistisk sammenhæng som Smart Cities. For eksempel er det en åbenlys mulighed at forebygge nedbrud i betonrørene, som spildevand afledes i, ved hjælp af data fra mikrosensorer. I den forbindelse må man huske, at 80-85 pct. af værdien af forsyningsselskabernes infrastruktur ligger i rørene i jorden”, siger technical business developer Ebbe Kruse Vestergaard.

Unisense sælger elektrokemiske mikrosensorer til forskningsmiljøer i USA, Asien og Europa. For eksempel har virksomheden siden 2013 markedsført en sensor, der kan måle lattergas og svovlbrinte i spildevand.

Internationalt er der en tendens til mere centralisering inden for sektoren. Det sker, fordi store, centrale anlæg kan udføre en mere avanceret behandling af vandet.

”Øget centralisering er ensbetydende med, at der i fremtiden vil være færre anlæg. Det betyder, at vandet skal pumpes over større afstande end hidtil. Det vil skabe længere opholdstider med iltfrie forhold, hvilket igen vil skabe mere svovlbrinte og dermed risiko for nedbrud af betonrørene”, siger Ebbe Kruse Vestergaard.

# Projektideer fra DTU

På baggrund af de indsigter og analyser, som projektet har udviklet, har de medvirkende DTU-forskere udarbejdet eksempler på forslag til vandteknologisk forskning og innovation. Forslagene adresserer centrale udfordringer med udgangspunkt i en tværfaglig tilgang og bidrag fra forskere med meget forskellige erfaringer fra vandsektoren. Desuden er der skelet til løsninger, som danske virksomheder har gode forudsætninger for at bidrage til at realisere. Forslagene er uddybende beskrevet i en elektronisk baggrundsrapport, som findes på <https://www.dtu.dk/Samarbejde/Virksomheder/Branche-og-sektorudvikling>





## Overvågning af vandressourcer fra droner og satellit

At have styr på mængden og kvaliteten af vandet i floder, søer, vådområder og grundvand er vanskeligt. Både teknisk og økonomisk er det en udfordring at have måleudstyr permanent installeret. Et lovende alternativ er målinger fra luften. Såvel europæiske ESA som amerikanske NASA opererer satellitter, som overvåger Jorden. Bl.a. er det muligt at hente data for overfladearealet af vandområder, vandstande, ændringer i samlede vandmængder, fugtighed af jordbunden, koncentrationer af plantematerialet i vandet, strømningshastighed mv. Den relativt store afstand fra satellitterne til Jordens overflade betyder, at der er grænser for, hvor høj opløsning man kan få. Samtidig er satellitterne begrænset af, at de bevæger sig i forud fastlagte baner. Derfor er det oplagt at supplere observationer fra satellitter med droner, der kan flyve i lav højde samtidig med, at man selv kan bestemme, hvor og hvornår de skal flyve. Projektforslaget kombinerer satellitoptagelser med droneoptagelser for at skabe et nyt stærkt værktøj for myndigheder, forsyningsselskaber og rådgivende ingeniører.

## Data- og vidensplatform til klimatilpasning af byer

Nutidens byer er dårligt forberedte til fremtidens klima. I Danmark er især skybrud og stormfloder vigtige udfordringer, men generelt er tørke, ændrede afstrømningsforløb og grundvandsforekomster også afgørende vigtigt. Allerede i dag rammes byer over hele verden således stadigt hyppigere af katastrofer som følge af ekstremt vejr. For tiden udforskes især to meget forskellige typer af vandteknologiske løsninger. Blå-grønne teknologier designs til at ændre vandets vej gennem byen. Realtidsvarsling og -observation af ekstreme vejrhændelser og deres konsekvenser i byen kan desuden medføre en mere effektiv udnyttelse af eksisterende infrastruktur og mindske skaderne på mennesker og værdier. Begge metoder kræver en digital platform, der hverken findes i Danmark eller internationalt, og som er i stand til at opsamle og analysere de nødvendige datatyper og de underliggende modeller på en effektiv måde. I de kommende år vil der være en stadigt stigende adgang til nye klimatjenester og en række af ovennævnte data som følge af betydelige danske og europæiske investeringer. En integrerende digital platform vil kunne hjælpe med til at facilitere adgangen til og sikre en optimal udnyttelse af disse nye dataprodukter.

## Bæredygtige byer gennem grå-grønne vandløsninger og smart teknologi

Øgede regnmængder som følge af klimaforandringer og udvidelse af vores byer medfører en større afstrømning fra befæstede overflader, og dermed at større mængder af vand, både nu og i fremtiden, ender i vores kloaksystemer i stedet for at nedsive, fordampe eller afstrømme naturligt. Kloaksystemerne er ikke bygget til at håndtere disse ekstra vandmængder, og vi oplever derfor både hyppigere oversvømmelser under skybrud og hyppigere udledning af kloakvand til åer, havne og andre vandområder (kaldet overløb) selv under moderat regn. Det er derfor vigtigt, at vi kommer med løsninger for at sikre en bæredygtig fremtid. Denne bæredygtighed kan opnås ved at arbejde med udvikling af: 1) Grøn infrastruktur såsom regnbede og grønne forsinkelsespladser, og 2) "Smart Cities" der binder byen elektronisk sammen og fx muliggør intelligent styring af spjæld og pumper i kloaksystemet. Ved at kombinere elementer fra grøn infrastruktur og digitalisering kan vi derfor opnå byer med en mere robust håndtering af regn- og spildevand, som både beskytter det lokale vandmiljø og er mere miljømæssigt bæredygtig.

## Sammenhængende nedbørsprognoser på tværs af tid og sted

Nedbør er den største udefrakommende påvirkning, der i korte perioder sætter afløbs- og spildevandssystemers kapacitet under pres. Dynamisk styring af blandt andet pumper, spjæld og opmagasineringsvolumener vil kunne hjælpe på disse problemer, og vi har derfor brug for at vide, hvordan systemerne bliver påvirket i den nærmeste fremtid, så vi på forhånd kan være klar til at håndtere pressede situationer. Denne type forhåndsviden kan komme fra numeriske vejrmødelles, og der er brug for løsninger, der enten anvender forskellige datatyper til forskellige formål eller formår at integrere dem til en sammenhængende prognose med fælles opløsning i tid og sted. En forudsætning er, at data er tilgængelige i realtid. Der er ydermere behov for forskning, der tydeliggør anvendelsesmuligheder i vandsektoren. Det drejer sig blandt andet om, hvilke typer af modeller man bruger disse data som input til afhængigt af det specifikke formål. Vejruksprognoser er behæftet med betydelige usikkerheder, og det vil være kritisk vigtigt at udvikle metoder til at kvantificere disse, så de er håndterbare for vandsektorens interessenter.

## Kloaksystemet skal have en digital tvilling

Kloaksystemet rummer mange hydrauliske bygværker som pumpestationer og overløbssystemer, der leder overskydende spildevand ud i vandløb, søer og havnebassiner ved voldsom regn eller oversvømmelser. Kloaksystemet er udfordret af klimaforandringer, øget urbanisering og øget bevidsthed i befolkningen om forurening. Projektforslaget går ud på at indføre Computational Fluid Dynamics (CFD) i vandsektoren. Metoden, der baserer sig på grundlæggende strømningsligninger, benyttes bl.a. inden for aerodynamik, dieselmotorer og bølgepåvirkninger af kystkonstruktioner. Ideen er at udnytte CFD til at gennemregne scenarier systematisk for at optimere udformning af hydrauliske bygværker. De parametre, som skal bruges ved optimeringen, kan være økonomiske, sikkerhedsmæssige og miljømæssige hensyn. Vel at mærke tages hensyn til, at det optimerede bygværk skal være en del af et større afløbssystem. Resultaterne bør også indgå i større modelkomplekser. Herved etableres den "digitale tvilling" af afløbsnettet, som sammen med relevante målinger kan bruges til at opdage forandringer i afløbsnettet, der kan varsle et snarligt brud.

## Pålidelige realtidsmodeller af vandsystemet

Vi tager det som en selvfølge, at metrologerne kan forudsige, hvordan vejret bliver i morgen. Det kan imidlertid kun lade sig gøre, fordi der udføres såkaldt data-assimilering, hvor enorme mængder af data fra satellitter og målestationer fodres ind i en model, som justeres løbende, så den afspejler virkeligheden. Det samme er ikke tilfældet i vandsektoren. Der findes ganske vist sensorer i byernes vandsystemer, men de er ikke anbragt systematisk nok, og de er ikke teknisk driftssikre nok til, at vi i dag tør bruge dem som andet og mere end vejledende. Projektideen går ud på dels at kvalitetssikre sensorerne, dels at anbringe dem strategisk klogt og frem for alt at gennemføre omfattende data-assimilering. Resultatet vil være prognoser for vandhåndteringen, der er så pålidelige, at de kan bruges til at styre systemet optimalt. De vigtigste gevinster vil være, at man forebygger unødvendige udslip af urensset spildevand og samtidig holder energiforbruget nede. En vigtig sidegevinst vil være, at man får afsløret de målere, som ikke virker ordentligt. Endelig vil man opdage sprængte vandrør og andre nedbrud tidligt.

## En ny generation af optiske sensorer

For at sikre en mere miljøvenlig drift af vores afløbssystemer er der behov for at overvåge vandkvaliteten. De nuværende sensorer er ikke robuste nok, de er svære at installere og kræver hyppig vedligeholdelse. Desuden kan de kun måle et begrænset antal stoffer. Kemiske Polymer Optisk Fiber (POF) sensorer vil egne sig godt til at måle på vandets indholdsstoffer online. Samtidig vil de være billige både i anskaffelse og med hensyn til installation og vedligeholdelse. Som noget helt nyt tillader målekonceptet bag POF, at der installeres flere sensorer over lang afstand i afløbssystemer. Dette vil resultere i en forøget mængde af informationer, som kan bruges til bedre validering af sensormålinger og en forbedret nøjagtighed. Disse nye målinger vil give et bedre overblik over forureningsdynamikker på tværs af afløbssystemer. Samtidig kan målingerne være udgangspunkt for mere præcise vurderinger af miljøpåvirkningen af udledninger fra urbane områder til det naturlige vandmiljø, så man kan forbedre driften af kloaksystemerne.

## Kommunikationsløsninger til vandsektoren

Vandforsyningselskaber ønsker i stigende grad at kunne gøre brug af sensorer til at kunne overvåge kvaliteten og mængden af vand. En af de store udfordringer ved at lave målinger på og i vand er at opsamle og videre-sende disse måledata. Problemet er nemlig, at sensorer til vand ofte vil være svært tilgængelige, dvs. placeret i vandrør, kloakskakte, omkring spildevandstanke, etc. Projektidéen er at kigge på de nye Low Power WAN teknologier som NB-IoT, LoRa og Sigfox, som muliggør såkaldt deep indoor penetration. Med teknologierne kan man kommunikere med devices (sensorer), som er lokaliseret dybt inde og bygninger, kælderskakte, vandledninger, kloakker, osv. Dermed kan man placere sensorer i alle dele af en bys vandkredsløb og trådløst aflæse sensorernes målinger. Dette muliggør en detaljeret overvågning og formindsker omkostninger til personale, der foretager målinger manuelt. Samtidig understøttes udviklingen af Internet of Things og Smart Cities.

## Systems Engineering og digital systemintegration

Vores viden om processer til indsamling, transport og behandling af vand og spildevand er i stigende grad lagret i matematiske modeller af de enkelte systemer, fx et kloaksystem, et drikkevandsproduktionsanlæg eller et rensningsanlæg. I praksis er systemerne koblet sammen, og det giver derfor også mening at koble systemerne sammen digitalt for derved at muliggøre model-baserede undersøgelser af potentielt gavnlige effekter af systemintegration. Det er vigtigt, at tilgængelige data udnyttes ifm. modelkalibrering, men de stigende mængder data udgør en udfordring. Der er derfor behov for forskning i metoder, der tillader automatisk kvalitetssikring af indsamlede data og automatisk kalibrering af matematiske modeller. Der er også behov for forskning og udvikling af brugervenlige interfaces mellem de forskellige systemer, og der bør udvikles validerede modeller, der er frit tilgængelige for alle brugere (open source). Fejlscenarier samt nye og alternative driftsscenarier kan også simuleres. På den baggrund kan man fx undersøge potentielle gevinster, der kan opnås ved at indbygge teknologier til energi- og ressourcegenvinding i eksisterende systemer, uden at det kræver dyre og tidskrævende eksperimentelle forsøg.

## Biomimetisk vandbehandling og ressourcegenindvinding

I udviklingslande såvel som i industrialiserede nationer, er mængden af forurenende stoffer fra menneskelig aktivitet, stigende i vandmiljøet. Den øgede bekymring for folkesundheden og miljøet, kræver øget genbrug af industrielt vand, og rensning af vand. Dette udmønter sig i et behov for bæredygtige, effektive, billige og robuste vandbehandlingsmetoder. Hertil kommer, at efterspørgslen på bæredygtige genindvindings-metoder, der opererer på vandige kilder, herunder spildevandsstrømme med lave stofkoncentrationer, er stigende på grund af stigende ressourceforbrug. Biomimetiske teknologier kan være fremtidens bud på effektiv og adaptiv vandrensning og ressource-genindvinding. Ved at kombinere avanceret molekylærdynamiske og kvantekemiske beregninger med fundamental materialevidenskab og proteinproduktion kan nye membranteknologier og enzym-baseret binding og/eller nedbrydning udvikles til kombineret vandbehandling og genindvinding af ressourcer.

## Ny bioteknologi til et nyt paradigme for spildevandsbehandling

Nutidens renseanlæg er mange steder i Europa og den industrialiserede verden tæt på at overskride deres tekniske levetid, hvilket muliggør, at helt nye teknologier tages i brug. Samtidig hører begrebet spildevand nu fortiden til. Fremover ses "brugt vand" som en kilde, der kan udvindes værdifulde ressourcer fra på en måde, der reducerer vores afhængighed af ydre energi- og ressourcekilder samt CO<sub>2</sub> udslippet. Udvikling af helt nye teknologiske løsninger og mikrobielle bioteknologier er nødvendig, hvor bæredygtighed og gennemførlighed er vigtige designparametre, og hvor der fra starten tages højde for indholdet af skadelige stoffer og organismer. Der er brug for en helt ny type integreret bioteknologiske processer, som på samme tid opfylder en lag række funktionskrav, såsom fx. genvinding af carbon via metan og organiske syrer, opkoncentrering af carbon og nitrogen i proteinrig biomasse, co-metabolær biologisk nedbrydning af fx farmaceutiske stoffer og mikroplastik, reduktion af udslippene af lattergas og antimikrobielle resistensgener, og reduktion af energiforbruget ved hjælp af membranbaserede beluftningssystemer.



## Membransyntese og enzymteknologi til industriel vandbehandling

Vandmangel og behovet for at fjerne forureningsstoffer gør behandling af brugt vand/spildevand fra industrier nødvendigt. Behandlingen skal ideelt set være energieffektiv og muliggøre genvinding af værdifulde opløste og adsorberede stoffer, hvilket kan bidrage økonomisk til processen. Membranfiltrering tilbyder lovende løsninger, men der er udfordringer. For det første er der brug for nye membraner med højt overfladereale, specifikke pore-størrelser (undertiden mindre end 200 nm) og en opbygning, der muliggør høj gennemstrømning. For det andet nødvendiggør fjernelse af nogle stofgrupper funktionalisering af membranerne, der kan ændre deres hydrofilitet og tendens til at tilstoppe, og som kan indbygge enzymer, der kan fremme nedbrydning af forureningsstoffer, som ellers ikke kan fjernes. Keramiske ultra/nanofiltrerings membraner kan give høj gennemstrømning og kan produceres ved hjælp af avancerede kemitekniske metoder til brug fx i den marine sektor, fødevareindustrien og den kommunale spildevandsrensning.

## Vandbehandling ved adsorption på naturligt sand

Tilgængelighed af rent drikkevand er en af de vigtigste forudsætninger for at opretholde liv, men menneskelige aktiviteter resulterer i udledning af store mængder toksiske kemikalier enten direkte til vandmiljøet eller via rensningsanlæg, der ofte er ude af stand til at fjerne forureningsstoffer som blødgørere, smertestillende og antidepressiv medicin, solfiltre, osv. Blandt mange potentielle nye teknologier til fjernelse af specifikke stoffer fra vand, opfattes adsorption på forskellige former for partikler som et billigt og effektivt alternativ. Mens fx syntetiske nanopartikler og organiske industrielle affaldsprodukter har forskellige ulemper ift. opskalering, er sand derimod en naturlig ressource, der er tilstede i rigelige mængder i det meste af verden inkl. offshore. Sand har været benyttet som naturligt filtreringsmedie i flere århundreder. Sands potentiale for at fjerne specifikke forureningsstoffer ved en kombinationen af fysiske og kemiske overfladeprocesser og biofilm, betydningen af sandets mineralske sammensætning og mulighederne for regenerering er imidlertid forskningssemner i deres vorden.

## Selvregulerende biologisk drikkevandsbehandling

Grundvand omtales ofte som en ressource, der bruges ubehandlet. Men virkeligheden er, at stort set alt grundvand behandles, før det bliver til drikkevand. Der fjernes blandt andet ammonium, mangan, jern, sulfider og methan, i de fleste tilfælde ved hjælp af biologiske metoder. Grundvandskvaliteten er yderligere udfordret af antropogene forureninger som fx pesticider. En dybere indsigt i de mikrobiologiske processer, de mikroorganismer, der udfører processerne, og de forhold, der er nødvendige for at optimere processerne, rummer potentiale for at disse processer også kan løse en række forureningsproblemer, som fx pesticider. For at styre disse processer kan det være nødvendigt at dosere methan - evt. i alternerende drift mellem vækst på primærsubstratet og nedbrydning af sekundærsubstratet (pesticidet), når primærsubstratet er brugt op. Komplexiteten af de mange samtidige, parallelle processer - der potentielt konkurrerer om ressourcerne - kræver udvikling og anvendelse af nye relevante sensorer, en tæt monitoring, udvikling af modeller af processerne i realtid, så feedback-mekanismer kan sikre, at systemet hele tiden er optimeret. Grundet kompleksiteten bør det afsøges, om machine learning kan bidrage til gøre disse biologiske sandfiltre til selvstyrende, autonome systemer.

## Ozonering - et alternativ og supplement til aktiv kul

Punktforureninger med for eksempel klorede opløsningsmidler truer flere steder grundvandet i Danmark, og afværgepumpning nedstrøms og nært ved forureningskilden anvendes ofte for at begrænse forureningens udbredelse til dybere grundvand. Traditionelt anvendes kulfiltre til at rense vandet fra afværgepumpninger inden det afledes til kloak, overfladerecipient eller reinjektion til grundvandet. Imidlertid er kulfiltrering ineffektivt til en række almindelige polære organiske forureningsstoffer herunder klorede solventer som klorethener. Desuden er den miljømæssige bæredygtighed i kulfiltrering tvivlsom pga. den store forurening, fremstilling af filterkul medfører. Ozonbehandling før kulfiltrene kan nedbryde en række polære forureningsstoffer, som normalt vil være de første, der bryder igennem kulfiltret. Men da grundvand ofte indeholder jern og mangan, skal der sammensættes en behandling med flere teknologier, så der ikke opstår problemer med okker og jernoxider, der blandt andet kan blokere kulfilterne. Ozonbehandling vil forlænge levetiden markant på de kulfiltre, man anvender til vandrensning.

## Værdiskabelse og miljøpåvirkninger i fremtidens vandsystemer (Eco-efficiency)

Kompleksiteten af byens og industriens vandsystemer er stigende, og det vanskeliggør opgørelser af påvirkning af miljø, økonomi og samfund. Der anvendes flere vandkvaliteter i vandforsyningen. Der genindvindes vand, energi og materialer fra spildevandet, og regnvand flyttes fra beton til grønne løsninger. Baseret på data fra laboratorieforsøg til fuldskaalanlæg, kan der opstilles scenarier for fremtidens vandteknologier. Hvad enten det er højteknologi eller naturbaserede løsninger, vil der ske påvirkninger af miljø og samfund i et indviklet samspil med energisystemer, natur, trafik og meget andet. Eco-efficiency kan vurdere scenariernes værdiskabelse og sætte det i forhold til påvirkningen af miljø og ressourcer. Når teknologier til vandbehandling vurderes allerede i deres udviklingsstadiet er bæredygtighed tænkt ind og dokumenteret inden det færdige produkt står klart. Værktøjet er også uomgængeligt, når beslutningstagere skaber fremtidens vandsystemer inden for rammerne af FNs bæredygtigheds mål (SDG'erne). Der er et stort potentiale for at udvikle bedre metoder til at kvantificere værdiskabelsen af vandteknologier og samtidigt beskrive og evaluere sammenhænge mellem de mange systemer, miljøet, og aktører på vandområdet.

Revers osmose vandbehandling ifm. Singapore's NEWater produktion.  
Foto: Martin Rygaard, DTU Miljø





Vandcenter Syd:

## Samarbejdet med universiteter kunne være bedre

VandCenter Syd er et af Danmarks største og ældste vandselskaber. Selskabet er ejet af Odense Kommune og Nordfyns Kommune med hhv. 89 og 11 % af aktierne.

”Vandforsyningselskaberne har rimelige rammer for drift og udvikling. Men med Vandforsyningslovens krav om økonomisk effektivisering kan rammerne for udvikling godt gå hen og blive udfordret over årene”, siger projektchef Troels Kærgaard Bjerre.

VandCenter Syd har løbende gennemgået en professionalisering og er blevet skarpere på, hvilke aktiviteter centeret sætter i gang. Konsekvensen er, at man stiller højere krav til nytteværdien af samarbejder.

”Med den almene internationalisering opstår der nye samarbejdsmuligheder. Vi oplever, at udenlandske universiteter er langt mere optaget af den direkte nytteværdi end danske. Dermed er danske universiteter blevet langt mere konkurrenceudsat. Her hjælper det ikke meget på det hele, at et samarbejde med et dansk universitet pga. universitetets incitamentsstruktur alene resulterer i publikation af en videnskabelig artikel eller optagelse af et patent”, siger projektchef Per Henrik Nielsen.

Der er ellers nok af forsknings- og udviklingsopgaver at tage fat på:

”Hvad angår det nye store dyr i åbenbaringen – digitalisering – så er der nok muligheder for en værdifuld indsats om automatisering af spildevandsbehandling. Vi tænker dog også, at det er relevant at spørge om, hvad det er for spørgsmål, vi endnu ikke har svar på i den sammenhæng”, siger projektchef Per Henrik Nielsen.



# Anbefalinger

Vand er vigtigt som aldrig før, fordi vand understøtter næsten al økonomisk vækst på tværs af sektorer, og fordi problemstillinger relateret til vand – som ekstreme vejrphænomener, naturkatastrofer, tørke og fejlslagen klimatilpasning – regnes blandt de allerstørste risikofaktorer for menneskehedens velbefindende og velstand. Samtidig er der et gigantisk potentiale i at skabe bæredygtige løsninger og forretningsmodeller, der fremmer vækst og beskæftigelse. Vandsektoren er gammel, men samtidig ung som branche.



Gennem de sidste 40 år er der udført en meget professionel indsats for at effektivisere og udvikle vandsektoren til en miljø- og eksportmæssig succes. Der er imidlertid stadig store udfordringer både nationalt og internationalt, som en fælles vision for samarbejde i sektorens økosystem om øget fokus på forskning, innovation, uddannelse og iværksætteri vil kunne bidrage til at løse.

Bredt i den danske vandsektor er der efterspørgsel på en fælles vision og overlappende incitamentstrukturer, der kan understøtte ambitionerne om at bringe Danmark helt forrest i feltet internationalt med deraf følgende øget eksport og beskæftigelse som resultat. En åbenlys mulig fælles vision for vandsektoren er at gennemføre det næste teknologispring ind i digitalisering og Industri 4.0 – som lokomotiv bag en transformation, der kan gøre sektoren både mere effektiv og innovativ, og samtidig mindre fragmenteret og mere bæredygtig.

Denne opgave kræver udvikling og udnyttelse af nye teknologier som sensorer, der kan registrere ændringer i vandkvalitet og nedbrud i betonrør, samarbejdende autonome systemer af vandkomponenter og -teknologier, og nye metoder til overvågning vha. selvkørende køretøjer og satellitter. Men den kræver i særdeleshed fokus på at binde systemer sammen, på tværs af det hydrologiske kredsløb i naturen såvel som de enkelte infrastruktur-elementer i byerne og i industrien men også fx på tværs af systemer af vand-, affalds- og energiteknologi (i første omgang) og af vand- og fødevareteknologi (i anden omgang).

Vandsektorens muligheder for at gennemføre teknologispringet er imidlertid udfordret af, at økosystemet for vandteknologi er samspilsramt af skrappe krav til forsyningssektoren om effektivisering og krav om primært fokus på drift inden for givne rammer. Forsyningsselskabernes og myndighedernes muligheder for at investere i ny viden har været vigende i de seneste år. Resultatet er, at producenter af vandteknologi og de rådgivende ingeniører i dialogen med forsyningsselskaber og myndigheder i mindre grad oplever at blive mødt af konkrete behov, der visionært sigter mod at bryde grænser, og som har potentialet til at blive fremtidens markedsstandarder. Samtidig oplever universiteterne også, at forsyningsselskaberne i mindre grad har mulighed for at indgå i forsknings- og innovationsprojekter.

Arbejdet med projektet har afdækket, at vandteknologiproducenter, rådgivende ingeniørvirksomheder, forsyningsselskaber, kommuner og universiteter i nogen udstrækning har specialiseret sig i forskellige

retninger teknologisk og fremstår geografisk fokuseret på udfordringer i forskellige dele af verden uden eksplicit fokusering på national videndeling og synergi. Konsekvensen er, at økosystemet for sektoren fremstår relativt fragmenteret, hvilket gør det vanskeligt at handle sammen om den næste store teknologiudvikling. Såfremt visionen skal kunne realiseres, skal der derfor ske forandringer i økosystemet.

Indsigterne fra arbejdet med denne rapport og de beskrevne temaer og tendenser er omsat i en række anbefalinger til forandringer i økosystemet, som kan muliggøre det næste store teknologispring, og som beskriver hvad teknologispringet konkret kan bestå i mht. forskning, innovation, uddannelse og iværksætteri.

## Anbefaling 1: Styrket økosystem

Fra andre sektorer (fx høreapparatusindustrien) er det velkendt, at større strategiske satsninger kan skabe sammenhæng i et teknologisk økosystem. Større strategiske satsninger kan derfor være nødvendige for at vende udviklingen i vandsektoren. Samtidig skal der fokus på at skabe andre og bedre rammebetingelser, så aktørerne i økosystemet får bedre betingelser for at arbejde sammen. Det gælder fx regulering, som understøtter udvikling og implementering af nye løsninger i vandsektoren, samt ved at skabe incitament- og meriteringsstrukturer der radikalt styrker samspillet mellem universiteternes forskning og uddannelse og vandsektorens kommercielle såvel som miljømæssige og samfundsmæssige behov. Der er brug for ressourcer og tillid til at få samarbejdet om innovation i vandsektoren til at fungere bedre, så det bliver muligt at gå sammen om en fælles vision for den næste store teknologiudvikling. Klyngedannelse nationalt og som udgangspunkt for fælles deltagelse i internationale satsninger (fx EU programmer og eksportfremme aktiviteter) kan styrkes.

Hvis den næste store teknologiudvikling skal lykkes i sektoren, bør det i højere grad ske gennem projekter, der samler økosystemets aktører på tværs af ansvarsområder og fagligheder, hvor de rette aktører involveres på det rette tidspunkt i forhold til udvikling, test og implementering af vandteknologi, og hvor forskere sammen med erhvervslivet tilrettelægger fleksible uddannelsesforløb designet med henblik på at tiltrække innovative unge inden for en bred vifte af kompetenceområder til vandbranchen. Måltrettet regulering af miljø- og servicemål med åbenhed for nye samarbejder og forretningsmodeller kan være med til at stimulere udviklingen.

## Anbefaling 2: Større strategiske satsninger og integration af fagligheder med afsæt i digitalisering

Det næste store teknologispring i vandsektoren synes at være digitalisering og Industri 4.0, og det foreslås derfor at samle parterne om at gennemføre større strategiske forskningssatsninger for at understøtte denne udvikling. Områder med særligt potentiale inden for temaerne behandlet i rapporten - Klima-tilpasning, Vand ind og ud af byer og Forvaltning af vandressourcer - inkluderer:

- Systemintegration på tværs af datakilder, komponenter, fysiske anlæg, digitale vandteknologiske løsninger og tværgående vandteknologiske platforme. Det gælder både i drift situationen med øget grad af automatisering og ved planlægning af fremtidige investeringer, hvor nye vandteknologier kommer i spil.
- Nye sensorer, der gør det muligt proaktivt at agere på signaler om ændringer i fx mængde og kvalitet af grundvand ved kildeplads, drikkevand hos forbrugeren, vandstrømme i fødevareproduktion, spildevand der udledes og om risiko for nedbrud i betonrør mv. Her vil forskning i robuste sensorer, der kan måle på mangeartede stoffer i små koncentrationer, og forskning i kommunikationsprotokoller være specielt vigtigt.
- Nye metoder til overvågning af vandets kredsløb i natur og miljø samt teknosfæren vha. droner og satellitter, hvor der anvendes data fra forskellige kilder som fx databaser og proxydata, som opsamles af brugere, passive samplere eller in-situ sensorer.
- Nye datadrevne analyse- og styringsalgoritmer baseret på kombinationer af deterministisk modelforståelse og statistiske beskrivelser af usikre datakilder samt Big Data analytics, "machine learning" og kunstig intelligens - med henblik på at udnytte de hastigt voksende datamængder opsamlet med varierende hyppighed og af forskellig type og kvalitet.
- Nye (samarbejdende autonome) systemer af vandteknologier baseret på intelligente komponenter og integration på tværs af vandteknologiske løsninger og tilknyttede forsyningsområder som fx vand- og energiteknologi (i første omgang) og vand- og fødevareteknologi (i anden omgang).
- Digitale værktøjer, der kombinerer totaløkonomiske analyser med risikohåndtering, bæredygtighedsvurdering og scenariefremskrivninger og inddrager metoder inspireret af sociologi og antropologi, der kan afdække fx vandforbrugeres, driftspersonales, myndigheders og virksomheders arbejdsgange, faktiske handlingsbaserede behov og imødekommenhed overfor ny teknologi.

Der er i projektet skitseret en digitaliseringsmodel for vandteknologi, og det er her blevet tydeligt, at der er stort behov for integration af både domænekendskab og fagligheder. Konkret skal der integreres mellem på den ene side den dybe vandfaglighed om stoffer, vandsystemer og procesforståelse/-styring og på den anden side den dybe faglighed om sensorer, kommunikationsprotokoller, kvalitetssikring af data, Big Data, statistik, modeller for prædikativ kontrol, "machine learning", kunstig intelligens og tværgående dataplatforme. I begge disse grupper er der langvarige og forskelligartede forskningstraditioner, som skal mødes, når der skal integreres på tværs.

## Anbefaling 3: Klare rammer for deling af data om vand

Rapporten peger på, at et værdiskabende arbejde med udvikling af vandteknologi forudsætter et tæt samarbejde mellem videninstitutioner, erhvervsliv, organisationer og myndigheder. Det skyldes, at der er en lang række aspekter inden for forskning, udvikling, test, regulering og organisering, som griber ind i hinanden.

Hertil kommer, at samarbejder om digitalisering og Industri 4.0 mv. på tværs af aktører i økosystemet for vandteknologi fordrer et tættere samarbejde om udveksling og samproduktion af information, viden og data. Derfor er det afgørende, at der eksisterer en tilidsfuld og transparent ramme for at udlevere og dele data. En sådan ramme skal vejlede og afspejle regulering for, hvem der har adgang til hvilke data, og hvem der har ansvar for at reagere på data, på en måde så der kan udvikles nye værdiskabende løsninger uden at kompromittere beskyttelsen af privatlivet. I tilknytning hertil bør der være mulighed for rådgivning.

Rapporten anbefaler derfor, at de centrale aktører i fællesskab arbejder for at skabe klare aftaleforhold om produktion, adgang til, lagring, samkøring og brug af data. I denne sammenhæng anbefales det at søge inspiration fra andre områder som fx "Computerome" på sundhedsdataområdet og Open Data initiativer inden for fx Smart Cities og vejrdato områderne.



## Anbefaling 4: En styrket tværfaglig uddannelsesindsats inden for vandteknologi og digitalisering

Dialogen med de private virksomheder, brancheforeninger, forsyningsselskaber samt offentlige myndigheder og institutioner har afdækket et behov for, at uddannelse inden for vandteknologi styrkes i lyset af de nye faglige udfordringer. Der er behov for uddannelse af flere kandidater, der på den ene side har dyb faglighed inden for vandteknologiske specialområder, og som samtidig har helhedsforståelse og kompetencer i at binde teknologier sammen på tværs vha. systemintegration baseret på procesforståelse. Det gælder også kandidater, der har kompetence i bæredygtighed, risikohåndtering, totaløkonomiske analyser, og som kender til antropologiske og sociologiske metoder. Især kombinationer af den teknisk-naturvidenskabeligt og domæne funderede vandfaglighed, generel faglighed om digitalisering og Industri 4.0, og et innovationsperspektiv er ønskelig.

Behovet ligger primært på kandidat- og efteruddannelsesniveau, hvor universiteterne har mulighed for at sammensætte uddannelsesforløb på nye måder, med kombinationer af nye og eksisterende kurser. Men der er også efterspørgsel efter ph.d.-uddannede forskere, som enten kan indgå i virksomhedernes forsknings- og udviklingsafdelinger eller som yngre forskere og undervisere på universitetet, der kan støtte op om samarbejdet med virksomheder, forsyningsselskaber og kommuner. Et bredt forankret ph.d. program med afsæt i vandsektorens handlingsbaserede, tværfaglige behov vil have stor effekt på sektorens innovationskraft allerede på kort sigt og på universiteternes mulighed for at imødekomme samfundets innovationsbehov inden for vandsektoren på længere sigt.

## Anbefaling 5: Bedre rammer for entreprenørskab og start-up vækstlaget

En afgørende faktor for at udvikle vandteknologi samt for at udvikle et konkurrencedygtigt erhvervsliv på området er at skabe gode vilkår for iværksætteri og entreprenørskab. Nye teknologiske landvindinger skabes ofte af højteknologiske startups i samarbejde med førende universiteter, men der er brug for at gøre op med konservatisme og nulfejlskulturen i vandsektoren for at stimulere innovationen.

I Danmark har vi allerede flere gode eksempler på vandteknologiske startup-virksomheder med udspring i højteknologisk forskning. Det gælder fx virksomheden Aquaporin, der globalt leverer højteknologisk udstyr inden for rensning af drikkevand.

Hvis der skal skabes flere start-ups inden for vandteknologi, der udspringer fra forskningen, bl.a. fra DTU, er der behov for at udbygge indsatsen og skabe bedre rammer for iværksætteri. Dette kan ske fx i form af:

- Netværks "communities" og co-working spaces, hvor professionelle personer kan knyttes tidligt til opstarts-idéer og innovationsprojekter for at sikre en hurtigere vej til marked og vækst. Fx kan succesfulde, serielle iværksættere fungere som medvejledere for iværksætterstuderende.
- Etablering af risikovillige GAP-fonde, der ud fra en vægtning af potentialer og risici kan støtte forskere og entreprenører med midler til at lukke hullet mellem forskning og etablering af virksomhed.
- Målrettede innovationsprogrammer som fx VIS-projektet, der har til formål at fremme SMV'ers adgang til samarbejde med vandteknologiske forskere (se Boks 1 om Water DTU).
- Forpligtende langvarige partnerskaber mellem større private og offentlige aktører inkl. universiteter som centrale aktører. Formålet er at skabe samarbejdende innovationsmiljøer, der kan have fokus på langsigtede samfunds- og markedsbehov men kan agere agilt uden at miste momentum over for de meget varierende finansieringsmuligheder både nationalt og i EU.
- Lovgivnings- og ledelsesmæssige rammer, der gør det muligt for start-up virksomheder at udvikle og markedsføre services baseret på de hastigt voksende datamængder, som digitalisering og Industri 4.0 i vandsektoren medfører.

# Litteraturliste

1. WWAP (United Nations World Water Assessment Programme), 2018. World Water Development Report 2018 – Nature Based Solutions for Water.
2. UNDESA (United Nations Department of Economic and Social Affairs), 2017. World Population Prospects.
3. Burek et al., 2016. Water Futures and Solution - Fast Track Initiative (Final Report). IIASA Working Paper. IIASA, Laxenburg, Austria: WP-16-006.
4. Water Information System for Europe, European Commission.
5. European Environmental Agency, 2016. Flood risks and environmental vulnerability. EEA Report No. 1/2016.
6. EU Commission, 2015. The water framework directive and the floods directive: actions towards the “good status” of EU water and to reduce flood risks.
7. Strosser, P. et al., 2012. Gap analysis of the water scarcity and droughts policy in the EU.
8. WssTP (Water Supply and Sanitation Technology Platform), 2017. The value of water,
9. Delvaux, P.A.G. et al., 2014. Potential for stimulating sustainable growth in the water industry sector in the EU and the marine sector – input to the European Semester. Water Industry Final Report. EU Commission.
10. European Commission, 2012. COM 216 final. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the European Innovation Partnership on Water
11. WWAP, 2016. The United Nations World Water Development Report 2016 – Water and Jobs.
12. WWAP, 2018. The United Nations World Water Development Report 2018 – Nature Based Solutions for Water.
13. Wada et al., 2016. Modeling global water use for the 21st century: Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. Geosci. Model Dev., 9, 175-222.
14. AQUASTAT- <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>.
15. Alexandratos and Bruinsma, 2012. World Agriculture Towards 2030/2050 – the 2012 Revision. ESA Working Paper No. 12-03. OECD.
16. OECD, 2012. OECD Environmental Outlook to 2050: The consequences of Inaction, Key Findings on Water.
17. WWAP, 2017. The United Nations World Water Development Report 2017 – Wastewater the Untapped Resource.
18. World Economic Forum, 2018. The Global Risk Landscape 2018. <http://reports.weforum.org/global-risks-2018/global-risks-landscape-2018/#landscape>, visited 16 Aug 2018.
19. World Water Forum, 2018. Global Water Initiative. <https://www.weforum.org/projects/global-water-initiative>, visited 16 Aug 2018.
20. <https://www.windpowermonthly.com/article/1445638/top-ten-turbine-makers-2017> og data fra Global Water Intelligence.
21. Yang, Jerry and Akiko Yamazaki, 2016. The Path to Water Innovation. Stanford Wood Institute for the Environment.
22. Ajami, Newsha K., Barton H. Thompson Jr. og David G. Victor, 2014. The Path to Water Innovation. Stanford Wood Institute for the Environment.
23. Copenhagen Economics, 2016. Eksport af dansk vandteknologi – Branchens syn på muligheder og barrierer.
24. Miljøministeriet, 2018. Eksport af vandteknologi 2017.
25. Moro, M.A., 2018. An evolutionary approach to water innovation: comparing the water innovation systems in China and Europe. PhD thesis, Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark, 62 pp.
26. DTU, 2017. Helbredstjek af dansk sundhedsteknologi. Sektorudviklingsrapport





# Appendix

## Appendiks 1

# Fagområder omfattet af sektorudviklingsprojektet

- **Klimatilpasning ift. vand, herunder:**
  - Håndtering af ekstrem nedbør, fx håndtering af regnvand i landskaber i den tidlige designfase vha. overfladevandsimuleringsteknikker
  - Håndtering af stormflod, havvandsstigninger og integration i landskabs- og byudvikling
  - Integration af ovenstående ifm. udvikling af byer og infrastruktur i såvel gamle som nye/voksende byer med temaer som Smart Cities, Nature Based Solutions, Liveability, osv.
- **Vand ind og ud af byer:**
  - IT-systemer til data kvalitetskontrol, signalintegration og beslutningsstøtte
  - Rent drikkevand eller rensset spildevand/regnvand som drikkevand (håndtering af miljøfremmede stoffer, blødgøring ved at fjerne kalkindhold)
    - særligt på eksportmarkeder med mangel på naturligt og rent drikkevand
  - Produktion af rent drikkevand fra saltvand vha. afsaltning samt etablering af vandsystemer og - infrastruktur for dette - særligt på eksportmarkeder med mangel på naturligt og rent drikkevand
  - Genbrug af spildevand (som energikilde, som kilde til næringsstoffer, som industrivand, som vand med forskellige anvendelsesformål i energisystemer, som en del af at udnytte mulighederne i energi-vand-fødevarer nexus'en og ifm. at udnytte muligheder i decentral spildevandsrensning)
  - Renere vand og jord i bymiljøer
- **Forvaltning af vandressourcerne**
  - Effektiv kortlægning af kvantitet og kvalitet af vandressourcer ved brug af fx satellit-, drone og sensorteknologi
  - Bedre brug af eksisterende data - Big Data/data mining
  - Miljøvurdering, løsninger og beslutningsstøtte for bedre vandkvalitet i grundvand og overfladevand

## Appendiks 2

# Idé til en praktisk guide til at bygge et helstøbt "økosystem" for vandteknologi

Som argumenteret under Anbefaling 1 vil det kræve et helstøbt "økosystem" at realisere mulighederne i vandteknologi. Et helstøbt økosystem har som forudsætning, at aktørerne samarbejder om at gennemføre en række fælles handlinger, og at hver især gennemfører en række individuelle handlinger.

Et helstøbt økosystem for vandteknologi i Danmark består af aktørerne figuren nedenfor.

I nedenstående afsnit er givet et første forsøgsvist bud på en praktisk guide for, hvilke disse handlinger kan være. Det forsøgsvis bud er et foreløbigt resultat af DTUs dialog med brancheforeninger, de interviewede virksomheder og offentlige myndigheder og et udblik til lignende økosystemer i udlandet. DTU imødeser en videre dialog med aktørerne om at bygge et økosystem i helstøbt form.



Oversigt over aktører i et økosystem for vandteknologi.



### Alle ved fælles hjælp

- Etablér "fælles sandkasser" for F&U projekter, Ph.d. vejledningsforløb, patentering, innovation og iværksætteraktiviteter. Konkret kan der etableres fysiske "hubs" for offentligt-privat forsknings- og innovationssamarbejde, hvor samarbejdspartnere fra forskningsinstitutioner og de andre aktører i økosystemet sidder sammen i dele af deres arbejdstid
- Etablér aftaler om samproduktion og deling af data

### Universiteterne

- Opbygge forskning og uddannelsesforløb inden for system integration og teknologi som understøttende funktion for sammenhængende systemer af vandteknologi (i første omgang) og energiteknologi og fødevareteknologi (i anden omgang)
- Etablere incitamentsstruktur, der belønner samarbejde på tværs af institutter, bl.a. om belønning for delt ph.d. vejledning
- Videreudvikle iværksættersystemer for forskere, så de bedre omfatter vandteknologi
- Opbyg kompetence i kombination af totaløkonomiske analyser og risikovurdering samt i antropologiske og sociologiske metoder for at sikre evidens og sikker implementering af teknologi i forbindelse med forskning i vandteknologi
- Etablér aftaler om samproduktion og deling af data

### Forsyningsselskaber

- Skab top- og mellemløbsbaseret positiv incitamentsstruktur for udviklings- og driftsafdelinger, interne IT-afdelinger og indkøbsafdeling om deltagelse i F&U, patentering, innovation og iværksætteraktiviteter med universiteter og om innovation med virksomheder
- Skab udbudskultur, hvor der er balance mellem den risiko, som forsyningsselskaber og virksomheden tager
- Udvikle forretningsmæssig kompetence inden for at rådgive kunder om at skabe overblik over datastrømme og ansvar herfor
- Opbyg kompetence i at integrere totaløkonomiske analyser/risikohåndtering og i design-antropologiske værktøjer samt i at sikre evidens og sikker implementering af teknologi
- Udvikle kompetence i at fungere som kompetent kunde med hensyn til overblik over datastrømme og ansvar herfor
- Etablér aftaler om samproduktion og deling af data

### Kommuner

- Skab top- og mellemløbsbaseret positiv incitamentsstruktur for udviklings- og driftsafdelinger, interne IT-afdelinger og indkøbsafdeling om deltagelse i F&U, patentering, innovation og iværksætteraktiviteter med universiteter og om innovation med virksomheder
- Skab udbudskultur, hvor der er balance mellem den risiko, som kommunen og virksomheden tager
- Udvikle kompetence i at fungere som kompetent kunde med hensyn til overblik over datastrømme og ansvar herfor
- Etablér aftaler om samproduktion og deling af data

### KL

- Etablér indkøbspulje til F&U projekter, patentering, innovation og iværksætteraktiviteter med universiteter og om innovation med virksomheder. Etablér en indgang for universiteter og virksomheder med henblik på at realisere dette
- Etablér grundlæggende incitamentsstruktur, som belønner skabt værdi i stedet for "bedst og billigst"
- Etablér aftaler om samproduktion og deling af data

### Industrien

- Opbygge forretningskompetence inden for systemintegration og teknologi som understøttende funktion for sammenhængende systemer af vandteknologi (i første omgang) og energiteknologi og fødevareteknologi (i anden omgang)
- Udvikle forretningsmæssig kompetence inden for at rådgive kunder om at skabe overblik over datastrømme og ansvar herfor
- Opbyg kompetence i at integrere totaløkonomiske analyser/risikohåndtering og i design-antropologiske værktøjer samt i at sikre evidens og sikker implementering af teknologi
- Etablér aftaler om samproduktion og deling af data

### Rådgivende ingeniører

- På agil vis opfange behov hos kunder og opfange løsninger, der fx udvikles på universiteterne, og sørge for, at kommuner, forsyningsselskaber og andre aktører bliver opmærksomme på de nye muligheder
- Opbygge forretningskompetence inden for systemintegration og teknologi som understøttende funktion for sammenhængende systemer af vandteknologi (i første omgang) og energiteknologi og fødevareteknologi (i anden omgang)
- Udvikle forretningsmæssig kompetence inden for at rådgive kunder om at skabe overblik over datastrømme og ansvar herfor

- Opbyg kompetence i at integrere totaløkonomiske analyser/risikohåndtering og i design-antropologiske værktøjer samt i at sikre evidens og sikker implementering af teknologi
- Etablér aftaler om samproduktion og deling af data

### **Iværksættere**

- Succesfulde, serielle iværksættere skal fungere som medvejledere for iværksætterstuderende
- Medvirke til at videreudvikle iværksætterisystem for forskere på forskningsinstitutioner
- Skaf adgang til relevante forskningsmiljøer og mulighed for første afprøvning
- Udvikl mulighed for mentor-ordninger, dels omkring teknologiudvikling, dels omkring virksomhedsopstart

### **Finansiering/Kapital**

- Finansiering af inkubationsmiljøer for iværksættere forbedres, eksempelvis ved deltagelse af erhvervsinvestorer i erhvervs ph.d.-forløb og ved let adgang til finansiering af første afprøvning

### **Myndigheder**

- Etablér en incitamentstruktur som belønner forsyningsselskaber for udover at forbedre drift og kvalitet at deltage i forsknings og innovationsprojekter med virksomheder og forskningsinstitutioner, og som ikke er betinget af medfinansiering fra kommuner
- Etablér tekniske systemer som muliggør deling og samproduktion af data
- Identificér og etabler rammebetingelser som understøtter systemintegration og teknologi som understøttende funktion for sammenhængende systemer af vandteknologi (i første omgang) og energiteknologi og fødevareteknologi (i anden omgang)

## Appendiks 3

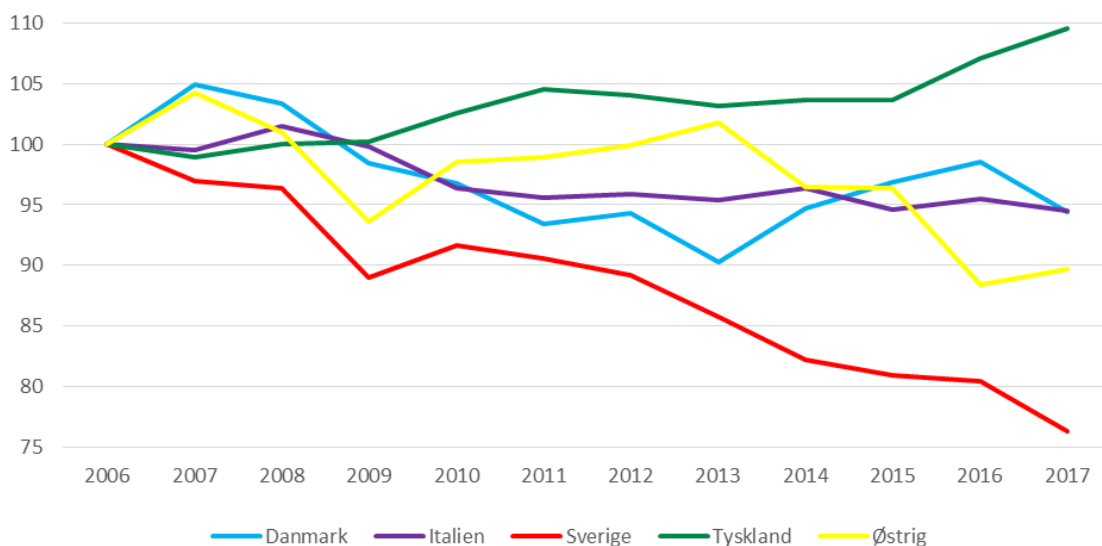
# Data om vandteknologi markedsudvikling og konkurrenceevne

Tabel 1 - Vandteknologiekспорт (mia. kr. - løbende priser).

Mia. kr.	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Samlet vandteknologiekспорт	15,0	16,6	17,0	17,7	18,8	19,5	19,3	19,6
Procent stigning	N/A	10,4%	2,5%	4,6%	5,8%	4,0%	-1,1%	1,6%
Vandteknologi vareekспорт	13,4	14,4	15,2	14,9	16,0	16,7	16,6	16,7
Procent stigning - vareekспорт	9,8%	7,6%	5,3%	-1,9%	7,1%	4,4%	-0,6%	0,9%
Vandteknologi serviceekспорт	1,6	2,1	1,8	2,8	2,8	2,9	2,7	2,9
- Heraf for rådgivende ingeniørvirksomheder	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
- Heraf for vareproducerende virksomheder	1,4	1,9	1,6	2,6	2,6	2,5	2,4	2,6
Procent stigning - serviceekспорт	N/A	38,7%	-18,1%	65,5%	-0,5%	-3,2%	-4,0%	7,2%
Serviceekспортens andel af vandeкспортен (pct.)	10,5	12,8	10,4	16,0	15,0	14,6	14,2	14,8

Kilde: Miljøstyrelsen (2018). Eksport af vandteknologi, 2017.

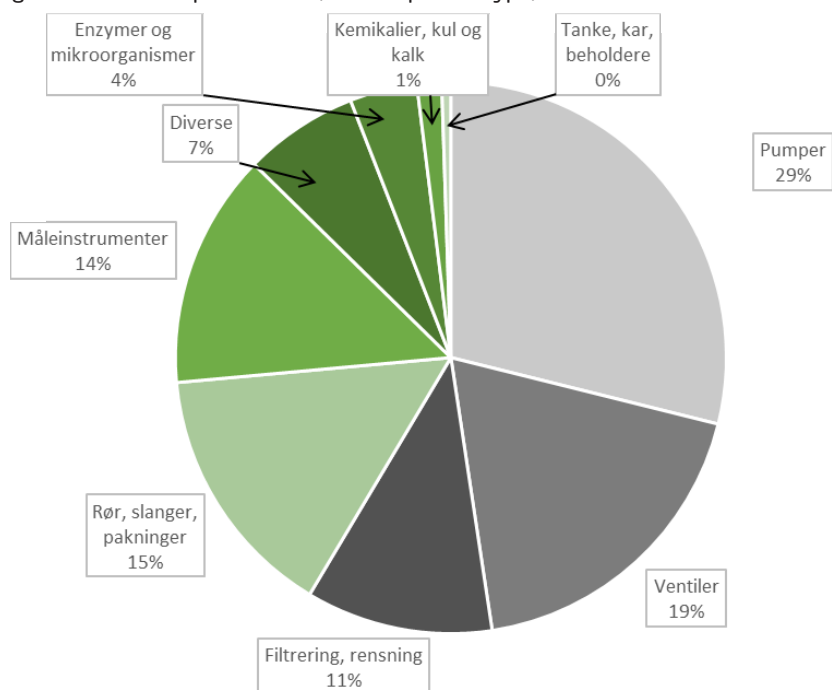
Figur 2 - Udvalgte landes eksport af vandteknologi som andel af EU15 eksport af vandteknologi



Kilde: Miljøstyrelsen (2018). Eksport af vandteknologi, 2017.

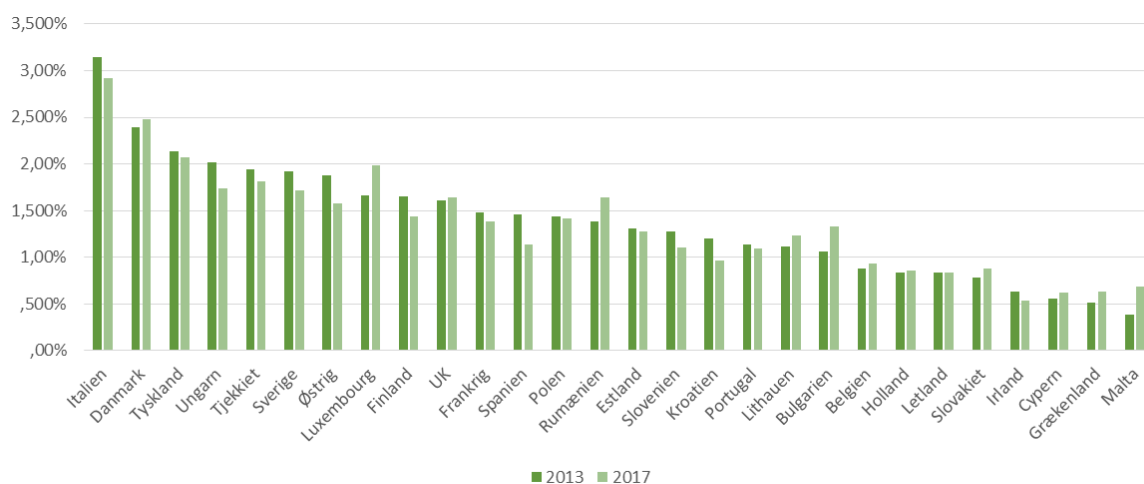


Figur 3 - Dansk eksport af vand, fordelt på varetype, 2017



Kilde: Miljøstyrelsen (2018). Eksport af vandteknologi, 2017.

Figur 4 - Vand som andel af samlet vareeksport, 2013 og 2017



## Appendiks 4

### Arbejds- og redaktionsgruppe:

Professor Peter Steen Mikkelsen, DTU Miljø (lead professor)  
 Professor Karsten Arnbjerg-Nielsen, DTU Miljø  
 Professor Poul Løgstrup Bjerg, DTU Miljø  
 Professor Peter Bauer-Gottwein, DTU Miljø  
 Professor Hans Jørgen Albrechtsen, DTU Miljø  
 Professor Henrik Rasmus Andersen, DTU Miljø  
 Lektor Luca Vezzaro, DTU Miljø  
 Adjunkt Morten Borup, DTU Miljø  
 Professor Lisbeth Truelstrup Hansen, DTU Fødevareinstituttet  
 Seniorforsker Martin Drews, DTU Management Engineering  
 Lektor Kristian Mølhav, DTU Nanotech  
 Professor Krist V. Gernaey, DTU Kemiteknik  
 Lektor Colin Stedmon, DTU Aqua  
 Seniorforsker Patrizio Mariani, DTU Aqua  
 Sektionsleder Severine Ramousse, DTU Energi  
 Lektor Lotte Bjerregaard Jensen, DTU Byg  
 Professor Henrik Madsen, DTU Compute  
 Lektor Lasse Engbo Christiansen, DTU Compute  
 Professor Erik Damgaard Christensen, DTU Mekanik  
 Professor Peter Uhd Jepsen, DTU Fotonik  
 Forsker Jakob Janting, DTU Fotonik  
 Lektor Sarah Renée Ruepp, DTU Fotonik  
 Programleder Christian Pedersen, DTU Fotonik  
 Fuldmægtig Line Bekker Poulsen, DTU AFR  
 Chefkonsulent Thomas Overgaard Jensen, DTU AFR  
 Specialkonsulent Lars Brückner, DTU AFR  
 Kontorchef Jan E. Molzen, DTU AIS  
 Forskningsjournalist Morten Andersen, manjourn.dk  
 Chefkonsulent Mads H. Odgaard, DTU AIS (projektleder)

### Styregruppe:

Institutedirektør Thomas Højlund Christensen, DTU Miljø (formand)  
 Institutedirektør Christine Nellesmann, DTU Fødevareinstituttet  
 Konstitueret institutedirektør Per Dannemand Andersen, DTU Management Engineering  
 Institutedirektør Thomas Lars Andresen, DTU Nanotech  
 Institutedirektør Kim Dam-Johansen, DTU Kemiteknik  
 Institutedirektør Fritz Köster, DTU Aqua  
 Institutedirektør Søren Linderorth, DTU Energi  
 Institutedirektør Niels-Jørgen Aagaard, DTU Byg  
 Institutedirektør Per B. Brockhoff, DTU Compute  
 Institutedirektør Hans Nørgaard Hansen, DTU Mekanik  
 Institutedirektør Lars-Ulrik Aaen Andersen, DTU Fotonik  
 Chefkonsulent Morten Løber, DI Miljø  
 Erhvervspolitisk chef Ulrik Ryssel Albertsen, Foreningen af Rådgivende Ingeniører

**Virksomheder:**

Environmental Manager Helle Nielsen, Arla  
 Environmental Manager Henrik Skøtt og teknisk direktør Jesper M. Jensen, KMC  
 Senior Vice President Jesper Daugaard, Kamstrup  
 Group director Morten Riis, Grundfos  
 Technical Business Developer Ebbe Kruse Vestergaard, Unisense  
 Markedschef Tommy Porsmose, AVK  
 Markedschef Theis Gadegaard, Krüger  
 Global Director & GKAM Water & Waste Water Mads Warming, Danfoss  
 Afdelingschef Klaus Rosendal, Sweco  
 Projektchef Mikkel Suell Henriques, Realdania  
 Forretningschef Jens Brandt Bering og Regionsdirektør Tom Heron, NIRAS  
 Executive Director Christian Grøn, DHI  
 CEO Peter Holme Jensen, Aquaporin  
 Vice President, Water and Nature, Gitte Godsk Dalgaard, COWI  
 Business Development Director, Water and Environment, Christian Holmegaard Mossing, COWI  
 Head of Research and Development Mads Uggerby, Envidan A/S

**Forsyningselskaber og offentlige myndigheder/institutioner:**

Specialkonsulent Jóannes J. Gaard og specialkonsulent Anders Berglöv Kjær, Vandforsyning, Miljøstyrelsen  
 Direktør Carl-Emil Larsen og afdelingschef Helle Katrine Andersen, DANVA  
 CEO Lars Schrøder, Århus Vand  
 Teknisk direktør Jens M. Prismo og forretningsudviklingschef Dines Thornberg, BIOFOS  
 Teknisk Direktør Bjarne Korshøj og Forsyningsdirektør Vand og Spildevand Ole Adeler, HOFOR  
 Projektchef Troels Kærgaard Bjerre, projektchef Per Henrik Nielsen og udviklings- og innovationskonsulent Rikke Hansen, Vandcenter Syd  
 Kontorchef Søren Oldenburg, Miljøstyrelsen  
 Chefkonsulent Lars Kaalund m.fl., Teknik & Miljø/KL  
 Fagleder Ivan Thesbjerg, Ringkøbing-Skjern Kommune  
 Chefkonsulent Hans Christian Jensen, Roskilde Kommune

Disclaimer: Ovenstående personer i virksomheder, universiteter og offentlige institutioner og myndigheder er interviewet men kan ikke nødvendigvis tages til indtægt for indholdet af rapporten. Henvendelser vedr. rapporten kan rettes til chefkonsulent Mads H. Odgaard, [maod@dtu.dk](mailto:maod@dtu.dk).





Foreningen af  
Rådgivende Ingeniører  
FRI



Dansk Industri

**Danmarks Tekniske Universitet**  
Anker Engelundsvej 1  
2800 Kgs. Lyngby